

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Estudio de procesos biológicos para aguas de escorrentía  
superficial que drenan al embalse Cupapuycito, desde  
el Sector Sabanetica, Municipio Piar, Upata, Estado  
Bolívar.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

presentado ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

como parte de los requisitos para optar al título de

**INGENIERO CIVIL**

REALIZADO POR:

Antonella J. Echenique S.

Rosa E. Hernández A.

PROFESOR GUIA:

Ing. Antonio Seijas

FECHA:

Noviembre, 2016.

# Índice de contenido

|                                                                               |        |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------|
|                                                                               | PP     |
| Dedicatoria.....                                                              | v      |
| Agradecimiento.....                                                           | vi     |
| Índice de tablas.....                                                         | ix     |
| Índice de figuras.....                                                        | x      |
| Resumen.....                                                                  | xiii   |
| Introducción.....                                                             | 14     |
| <br><b>Capítulo I: El problema</b> .....                                      | <br>16 |
| Planteamiento del problema.....                                               | 16     |
| Objetivos.....                                                                | 18     |
| Delimitación.....                                                             | 18     |
| Justificación.....                                                            | 20     |
| <br><b>Capítulo II: Marco Teórico</b> .....                                   | <br>22 |
| Antecedentes .....                                                            | 22     |
| Referencias Teóricas .....                                                    | 23     |
| Aspectos hidrológicos .....                                                   | 23     |
| Cálculo de caudales pico .....                                                | 29     |
| Balance hídrico.....                                                          | 32     |
| Cuantificación de los componentes del Balance hídrico.....                    | 33     |
| Cómputo del Balance hídrico.....                                              | 37     |
| Contaminación de las aguas .....                                              | 38     |
| Aguas residuales.....                                                         | 38     |
| Medición de la concentración de contaminantes en aguas residuales.....        | 39     |
| Canales abiertos.....                                                         | 43     |
| Clasificación de flujos en canales abiertos según el número de Reynolds ..... | 44     |
| Clasificación de flujos en canales abiertos según el número de Froude .....   | 45     |
| Secciones hidráulicas transversales.....                                      | 46     |

|                                                                                                                           |                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Movimientos permanentes en canales abiertos .....                                                                         | 467            |
| Lagunas de estabilización.....                                                                                            | 48             |
| Partes constitutivas de una laguna de estabilización .....                                                                | 53             |
| Factores que influyen en las reacciones biológicas (no controlables por el hombre) de las lagunas de estabilización ..... | 578            |
| Factores físicos, químicos y microbiológicos en lagunas de estabilización .                                               | 588            |
| Condiciones que influyen en el funcionamiento de las lagunas de estabilización.....                                       | 610            |
| Métodos de diseño de las lagunas de estabilización .....                                                                  | 621            |
| Humedales.....                                                                                                            | 743            |
| Referencias Legales.....                                                                                                  | 943            |
| Terminología básica.....                                                                                                  | 954            |
| <br><b>Capítulo III: Marco Metodológico.....</b>                                                                          | <br><b>99</b>  |
| Tipo de Investigación.....                                                                                                | 99             |
| Diseño de la investigación.....                                                                                           | 99             |
| Sistema de variables.....                                                                                                 | 100            |
| Técnicas e Instrumentos de recolección de información.....                                                                | 100            |
| Procedimiento.....                                                                                                        | 104            |
| <br><b>Capítulo IV: Presentación y análisis de resultados.....</b>                                                        | <br><b>106</b> |
| <b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>                                                                                | <b>138</b>     |
| <b>Referencias.....</b>                                                                                                   | <b>143</b>     |
| <b>ANEXOS .....</b>                                                                                                       | <b>146</b>     |
| ANEXO A.....                                                                                                              | 147            |
| BASES TEORICAS .....                                                                                                      | 147            |
| ANEXO B .....                                                                                                             | 150            |
| CARACTERIZACION Y MUESTREO.....                                                                                           | 150            |
| ANEXO C .....                                                                                                             | 159            |
| NOTICIAS .....                                                                                                            | 159            |

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ANEXO D .....                                                                 | 162 |
| PROCESO BIOLOGICO (HUMEDAL) .....                                             | 162 |
| ANEXO E .....                                                                 | 165 |
| SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS DE ESCORRENTIA<br>SUPERFICIAL (COLECTOR)..... | 165 |

## Dedicatoria

### **A Dios.**

Quien permitió esta realidad, y que hizo a través de mí su voluntad enseñándome el gran valor de cumplir esta meta

### **A mis familiares.**

Que, con su granito de arena, me llenaron de voluntad, de optimismo y de seguridad para ser un ejemplo a las futuras generaciones de la familia.

### **A mis hermanos.**

**Marly Echenique y Antonio Echenique**, no saben lo tanto que los amo y que les agradezco cada segundo con ustedes apoyándome en esta etapa.

### **A mis padres.**

**Livia Sanhouse y Antonio Echenique** que lo dieron todo para darme su apoyo, y que sé que celebraran esta meta compartida, esto es por ustedes.

**Antonella José Echenique Sanhouse**

### **A Dios.**

Por darme todas las herramientas para cumplir mis objetivos, además de su fortaleza y esas ganas de luchar y perseverar.

### **A mis padres.**

**José Hernández y Alicia Amador**, por su amor incondicional, por ser ejemplo de vida y motivación, que me hacen ser mejor persona.

**A mis familiares, mis hermanas y mi sobrino**, quienes han estado conmigo en las buenas y malas.

**A la Familia Arteaga Amador, Peralta Villadiego y Santoyo Hernández**, quienes también han puesto su granito de arena y han esperado con ansias este logro.

**Rosa Elena Hernández Amador**

## Agradecimiento

Antes que nada, a Dios, por ayudarme a alcanzar este sueño, llenándome de sabiduría y fortaleza para superar cada uno de los obstáculos que se presentaron en este largo camino, por presentarme personas que me acompañaron plenamente en este reto, cumpliendo cada uno su rol por cada situación, simplemente agradecida con él, de cumplir su voluntad en mí fortaleciendo una vez más mi fe a él.

A mis padres, que a pesar de toda circunstancia me apoyaron, enseñándome el valor de lograr lo que me proponga, haciéndome crecer fortalecida con cada uno de sus valores para llegar a donde estoy, gracias mamá por tener toda tu atención en mí manteniéndome enfocada en la meta, y gracias papá por enseñarme a no desistir y aprender de cada experiencia que viví durante toda esta etapa, los amo, ustedes fueron los principales causantes de este logro, gracias.

A mis profesores, por enseñarme su gran sabiduría, gracias a ustedes me llevo conocimientos brindados por los mejores. **Ing. Antonio Seijas**, gracias por apoyarnos sin duda alguna a mi compañera y a mí con nuestro tema de investigación, usted ha sido uno de nuestros grandes ejemplos en la carrera, como persona y colaborador de ideas en la carrera, al **Ing. Jaime Leonardi** por darnos su asesoría incondicional durante todo este proceso, su paciencia y su atención, se lo agradezco muchísimo, al **Ing. Eduardo Greschak** sin duda por su apoyo y generosidad en su ayuda y asesoría. De verdad gracias, estaré siempre agradecida con ustedes por su ayuda en la culminación de mi carrera.

A mis compañeros, que me permitieron conocer sus corazones, convirtiéndose en personas inseparables unidas por un solo pensamiento de ser ingenieros Civiles. Gracias **Doan Carvajal y Carlos Aguilera**, por ser mis amigos incondicionales, ustedes se convirtieron en mis hermanos desde el inicio de esta aventura, dándome su mano en los éxitos y su hombro en los no tan éxitos, gracias por siempre estar conmigo y celebrar cada éxito como si fueran de ustedes, y a ustedes amigas, **Patricia Pérez, Laura Andrade y Karla Pérez** por formar parte de tantos momentos importantes durante estos últimos años. A todos ustedes gracias marcaron mi vida. **Manuel Hernández**, gracias por tu preocupación con este trabajo de grado, de verdad que agradezco tu asesoría, tu optimismo, y tus ganas de ayudarme a que esta última entrega académica fuese la más importante de todas, gracias manu.

Y a mi compañera de tesis, **Rosa Elena Hernández**, por hacer de todo esto una experiencia inolvidable y satisfactoria, donde me enseñaste el compañerismo, la amistad y la voluntad que me lleno de confianza y seguridad para cruzar esta meta. Lo logramos amiga, gracias...

## **Antonella Echenique**

Primero que todo, doy gracias a Dios, porque me puso de frente este largo y esplendoroso camino, lleno de obstáculos, pero nada que me detuviera, junto a él mis pasos fueron guiados para llegar a donde estoy hoy, tan cerca de la meta, sé que esta victoria es mía y sólo me queda agradecer.

A mi padre, que, aunque hoy en día no esté físicamente, sé que como estrella siempre brillará para mí y mi familia. Eres mi ejemplo a seguir desde que tengo uso de razón y mucho antes, gracias por ser el gran hombre que nos brindó amor, nobleza, humildad, buen humor, poesía e infinidad de valores que te caracterizaban. Hoy, te agradezco por haber sembrado tu granito de arena en mí, por darme todo ese amor que me hace ser la mujer que soy.

A mi madre, por ser el pilar fundamental para mi vida, que ante toda circunstancia siempre está ahí, gracias por cada regaño, cada consejo, hoy comprendo que de cada uno de esos detalles son los que te edifican como persona de bien. Como padres, los escogería, una y otra vez, los amo con todo mi corazón, son mi todo. Gracias por no fallarme nunca.

A mis hermanas **Yuleyky y María Rosa Hernández**, a mi ahijado y sobrino, **José Gregorio Agresoth**, por demostrarme siempre su amor incondicional, a pesar de todo, nos mantenemos unidos, y espero que sea así por siempre. A mi comadre **Aminta Agresoth**, que físicamente no está con nosotros, pero día a día continúa en nuestras vidas y corazones, en la figura de tu hijo. Gracias por ser aquella que estuvo allí para darnos enseñanzas, amor, regaños y valores, que hoy se reflejan en nuestro ser.

Sin olvidarme de mis compañeros y amigos:

**Julio Tello**, a ti por ser mi amigo desde que tengo uso de razón, por haber vivido conmigo experiencias inolvidables y estar ahí en todo momento.

**Sialeidys Mota**, mil gracias por ser esa hermana y amiga, que me ha brindado su apoyo incondicional en todo momento, igualmente a tu familia.

**Doan Carvajal**, gracias por ser ese ser elocuente, positivo, divertido y perseverante que se me atravesó en la vida aquel día en la biblioteca, gracias por levantarme en los momentos más difíciles, a pesar de la distancia siempre te tengo presente, y espero que podamos vernos pronto amigo.

**Manuel Hernández**, primo, gracias por toda la preocupación, dedicación y apoyo que nos brindaste en todo momento a lo largo de esta etapa, y durante la carrera.

**Eduardo Rodríguez**, gracias por todo el apoyo que me brindaste durante esta larga etapa, eres uno de los pocos que conservo desde los inicios en la universidad y te aprecio mucho, en varias oportunidades me echaste una mano.

**Daniel Rengel**, tu ayuda siempre estuvo ahí, mil gracias por brindarme tu amistad y apoyo cuando más lo necesité.

A mi amiga y compañera de tesis **Antonella Echenique**, mil gracias por elegirme para realizar este Trabajo Especial de Grado, el cual finiquita nuestra carrera. Agradezco tu paciencia, entusiasmo y amistad para conmigo, siempre desearé para ti éxitos, eres una persona increíble y ahora es que viene lo bueno.

Gracias a todos por el cariño, apoyo, credibilidad que tuvieron conmigo y por hacer ameno esos momentos.

A mis profesores y colaboradores, **Ing. Antonio Seijas, Ing. Jaime Leonardi, Ing. Néstor Ollarves, Ing. Eduardo Greschak**, sin ellos hubiera sido tan difícil que todo sus conocimientos y enseñanzas llegaran a mí, sus herramientas fueron cables para lograrlo. Los frutos del saber pasaran a la historia y que agrado tener un pedacito de su ser para siempre, pues los conocimientos y aprendizajes no te los quita nadie. Gracias por haberme encaminado para lograr esto que siempre quise, a un paso de ser Ingeniera Civil.

**Rosa Elena Hernández Amador**

## Índice de tablas

| Tabla.                                                                                                              | pp. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Coeficiente de escorrentía "C".....                                                                              | 26  |
| 2. Valores de M para diferentes coberturas vegetales.....                                                           | 27  |
| 3. Tiempos de retardo para diferentes tiempos de concentración.....                                                 | 32  |
| 4. Capacidad de almacenamiento según la textura dominante en los<br>primeros 100 cm del perfil de suelo.....        | 35  |
| 5. Clasificación de las aguas dependiendo de la dureza.....                                                         | 41  |
| 6. Clasificación de flujos dependiendo del número de Reynolds.....                                                  | 45  |
| 7. Clasificación de flujos dependiendo del número de Froude.....                                                    | 46  |
| 8. Valores del coeficiente de rugosidad de Manning.....                                                             | 47  |
| 9. Ventajas y desventajas de los sistemas de lagunas de estabilización.....                                         | 49  |
| 10.Principales parámetros físicos, químicos y microbiológicos.....                                                  | 60  |
| 11. Especies emergentes comunes en depuración de aguas residuales.....                                              | 76  |
| 12. Propiedades físicas del agua.....                                                                               | 89  |
| 13. Características típicas de los medios para humedales SFS.....                                                   | 90  |
| 14. Parámetros organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos del agua<br>del embalse Cupapuycito en el 2011..... | 116 |
| 15. Parámetros organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos del agua<br>del embalse Cupapuycito en el 2016..... | 117 |
| 16. Temperatura media anual (°C). Estación Upata.....                                                               | 121 |
| 17. Precipitación media anual (mm). Estación Upata.....                                                             | 121 |
| 18. Evaporación media anual (mm). Estación Upata.....                                                               | 121 |
| 19. Datos para el Balance hídrico de la zona de estudio.....                                                        | 122 |
| 20.Balance hídrico para la zona de estudio.....                                                                     | 123 |
| 21. Tipos de vegetación para humedales artificiales.....                                                            | 135 |
| 22. Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes...                                         | 148 |
| 23. Balance hídrico de la cuenca del río Caroní, estación Caroní.....                                               | 154 |

## Índice de figuras

| Figura.                                                                                         | pp. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. Vista y ubicación de Sabanetica y el embalse Cupapuycito.....                                | 19  |
| 2. División político territorial del estado Bolívar.....                                        | 20  |
| 3. Ciclo del agua.....                                                                          | 24  |
| 4. Hidrograma.....                                                                              | 28  |
| 5. Hidrograma triangular.....                                                                   | 29  |
| 6. Parámetros del hidrograma triangular.....                                                    | 30  |
| 7. Ecosistema de lagunas facultativas.....                                                      | 52  |
| 8. Cortes de la caja del dispositivo de entrada.....                                            | 54  |
| 9. Cortes del dispositivo para la distribución de caudales.....                                 | 55  |
| 10. Estructura de salida superficial.....                                                       | 56  |
| 11. Detalles de entrada, salida e interconexiones de las lagunas.....                           | 56  |
| 12. Relación entre carga superficial, temperatura y profundidad para lagunas.....               | 64  |
| 13. Esquema típico de planta emergente.....                                                     | 75  |
| 14. Tipos de humedales contruidos, típicamente usados para tratamiento de aguas residuales..... | 78  |
| 15. Tipos de humedales contruidos, típicamente usados para tratamiento de aguas residuales..... | 79  |
| 16. Sistema típico de entrada y de salida para un humedal contruido.....                        | 82  |
| 17. Mapa cartográfico de la zona protectora y el embalse Cupapuycito....                        | 106 |
| 18. Equipo utilizado para el ensayo de coliformes. (Incubadora).....                            | 108 |
| 19. Tubos de ensayo de 10 ml a los 5 días de ensayo.....                                        | 109 |
| 20. Equipo utilizado para el ensayo de dureza total. Durante la prueba.....                     | 110 |
| 21. Equipo utilizado para el ensayo de dureza total. Resultado final.....                       | 110 |

|                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 22. Equipo para calcular la conductividad. (Conductímetro).....                                                | 111 |
| 23. Equipo utilizado para medir la turbidez de la muestra. (Turbidímetro). ..                                  | 112 |
| 24. Muestras de 10 y 20 ml en botellas de incubación (Winkler) de<br>capacidad de 300 ml.....                  | 113 |
| 25. Equipo utilizado para homogeneizar las muestras de 10 y 20 ml<br>(Agitador magnético).....                 | 114 |
| 26. Equipo utilizado para medir el pH de la muestra (pH metro).....                                            | 115 |
| 27. Hietograma de la estación Upata (Precipitación total anual vs el tiempo)<br>(2001-2007).....               | 118 |
| 28. Hietograma de la estación Upata (Precipitación total anual vs el<br>tiempo) (2011-2014).....               | 119 |
| 29. Ubicación de las estaciones pluviométricas en las cuencas<br>contribuyentes al bajo Caroní.....            | 120 |
| 30. Balance hídrico de la cuenca del río Caroní, estación Caroní.....                                          | 124 |
| 31. Área de estudio seleccionada.....                                                                          | 125 |
| 32. Hidrograma triangular caudal (l/s) vs (h).....                                                             | 127 |
| 33. Programa HCANALES. Selección de la sección transversal del<br>canal.....                                   | 128 |
| 34. Programa HCANALES.....                                                                                     | 128 |
| 35. Datos para el cálculo del tirante crítico. Programa<br>HCANALES.....                                       | 129 |
| 36. Cálculo del Tirante Crítico, sección circular, tomada del programa de<br>cálculo de canales, HCANALES..... | 129 |
| 37. Cálculo de caudal, sección circular. HCANALES.....                                                         | 130 |
| 38. Curva de duración, intensidad y frecuencia de la Lluvia. Intensidad (mm/h)<br>vs Duración (h).....         | 149 |
| 39. Curva de duración, intensidad y frecuencia de la Lluvia. Intensidad<br>(l/s/ha) vs Duración (min).....     | 149 |
| 40. Sectores del Río Caroní.....                                                                               | 151 |
| 41. Precipitación media anual.....                                                                             | 152 |

|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 42. Evaporación. Bajo Caroní.....                                                         | 153 |
| 43. Toma de muestra a orillas del embalse Cupapuycito, sector<br>Sabanetica.....          | 155 |
| 44. Fotografía al sur del embalse Cupapuycito, sector Sabanetica.....                     | 155 |
| 45. Actividades agrícolas realizadas de la zona protectora del embalse.....               | 156 |
| 46. Presencia de la planta acuática Bora.....                                             | 156 |
| 47. Actividad agrícola en la zona protectora del embalse.....                             | 157 |
| 48. Embalse Cupapuycito, situada al nor-oeste de la ciudad de Upata entre<br>colinas..... | 157 |
| 49. Actividad pecuaria presente en la zona protectora del embalse.....                    | 157 |
| 50. Actividad ganado porcino presente en la zona protectora del<br>embalse.....           | 158 |
| 51. Vista isométrica de planta del humedal.....                                           | 163 |
| 52. Vista lateral del humedal.....                                                        | 163 |
| 53. Vista del talud del humedal. Espesor de la capa de grava (9cm).....                   | 164 |
| 54. Vista de planta del colector con el área de humedal.....                              | 166 |
| 55. Isometría del colector.....                                                           | 167 |
| 56. Vista lateral del colector.....                                                       | 167 |
| 57. Vista frontal del colector.....                                                       | 168 |
| 58. Vista de planta y lateral del colector.....                                           | 168 |
| 59. Vista de planta y vista lateral del colector.....                                     | 169 |



**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**Estudio de procesos biológicos para aguas de escorrentía superficial, que drenan al embalse Cupapuycito, desde Sector Sabanetica, Municipio Piar, Upata, Estado Bolívar.**

Autores: Antonella J. Echenique S.  
Rosa E. Hernández A.

Tutor: Antonio Seijas

Fecha: Noviembre, 2016

## **Resumen**

El sector Sabanetica ubicado en la periferia de la ciudad de Upata, aporta agentes contaminantes al reservorio de agua más importante de la zona (embalse Cupapuycito), ya que es la fuente de abastecimiento de gran parte de la ciudad, y de los sectores Sabaneta y Sabanetica. Estos agentes productos de actividades de cultivos y cría de animales, son arrastrados al embalse por medio de aguas de escorrentías, dando la existencia de eutrofización, que es un fenómeno que ocurre en la presencia excesiva de nutrientes, como son específicamente, el fósforo y el nitrógeno, provocando el crecimiento de algas y hierbas acuáticas, cambios físicos, químicos y bacteriológicos al cuerpo de agua. La presente tesis de grado evaluó procesos biológicos (lagunas y humedales) con sistemas de captación de aguas de escorrentía, para mitigar el impacto que genera los vertidos al embalse Cupapuycito, tomando en cuenta las características físicas e hidrológicas del embalse que ayudaron a la investigación general del problema. Se realizó una muestra para evaluar la calidad de agua del embalse, y así justificar el análisis de estudio, asimismo un balance hidrológico para el cálculo de la escorrentía total o excedentes, que ayudaron a determinar que el diseño de un humedal fue la solución más apta a la zona, permitiendo la disminución de nutrientes que vierten en la fuente de abastecimiento.

**Palabras clave: Embalse, Eutrofización, Escorrentía, Humedal.**

## **Introducción**

Es necesario saber que el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos depende del balance entre el agua que entra a través de la precipitación, la escorrentía, los nacimientos subterráneos, los afloramientos superficiales, las infiltraciones en el terreno y los procesos de evapotranspiración, dependiendo del clima (Roldán, Jairo, 2008, p.19). Es de suma importancia que los lagos o embalses como fuente de abastecimiento de agua a las poblaciones y en algunas actividades del hombre sean conservados, controlados, y cuando sea posible incrementarlos para generaciones futuras.

Cada día el ser humano realiza actividades que permiten el desarrollo de la sociedad, sin tomar en cuenta el daño directo o indirecto que recibe la naturaleza, pues este se aprovecha de ella sin retribuir el daño ocasionado. La mejor manera es utilizar de sus recursos y retribuirselos, para eso debemos tener una educación ambiental extensa que nos desarrolle el valor indispensable que esto conlleva.

La información analizada en la presente Tesis de Grado, nos permitió obtener un conocimiento más desarrollado del tema, las principales fuentes que generan nutrientes en la zona, los efectos que ocasiona y algunos procesos o métodos que pueden ser utilizados para el control de este tipo de contaminación.

En el primer capítulo se describen las principales causas y consecuencias que se generan por la contaminación de nutrientes, evidenciando la importancia que se le refiere a fuentes de abastecimientos, como lo es el embalse Cupapuycito. Además, afectando directamente en los aspectos físicos, químicos y biológicos del agua, alterando el ecosistema y la vida acuática.

En el segundo capítulo se desarrolla la teoría que ayuda a analizar y comprender todos los temas mencionados durante la investigación, la incidencia climatológica del sitio, principales fuentes de nutrientes, y los posibles sistemas hidráulicos que ayuden a la captación de las aguas de escorrentía superficial. Y También al control y disminución de nutrientes por medio de procesos biológicos.

En el tercer capítulo se describe las técnicas de recolección de datos e información de distintos temas: hidrológicos, climatológicos, topográficos, y características organolépticas, físicas y microbiológicas del agua del embalse, que permitieron ser la base de la presente investigación de algún proceso o sistema biológico que ayude a disminuir el impacto que tiene la comunidad Sabanetica con el embalse Cupapuycito.

En el cuarto capítulo se demuestra por medio de procedimientos analíticos, la factibilidad de una laguna de estabilización o un humedal como procesos biológicos de desinfección de las aguas de escorrentía. Los humedales controlan al nitrógeno originado en los terrenos agrícolas, maximizando la sustentabilidad a largo plazo a expensas de la eficiencia, y la laguna de estabilización remueve materia orgánica y elimina microorganismos patógenos para usar su efluente como aprovechamiento.

En el quinto y último capítulo, se mencionan diferentes medidas de control que se deben cumplir para garantizar la vida más larga del embalse Cupapuycito, la importancia que se le debe dar a la investigación para desarrollar conciencia en la población. Ante las amenazas evidentes que tiene el embalse Cupapuycito, esta debe ser protegida de acuerdo a la normativa legal vigente, a fin de evitar su extinción prematura.

## Capítulo I

### El Problema

#### Planteamiento del problema

El agua es uno de los recursos vitales para la humanidad y todo ser vivo del planeta Tierra, actualmente se ubica como uno de los principales derechos humanos. Entre los países mega diversos de Latinoamérica, Venezuela se encuentra entre los más importantes, en cuanto a biodiversidad se trata; la mayoría de la población y gran parte de la actividad industrial se ubica en regiones de escasas fuentes naturales de agua.

Hoy en día, diferentes cuerpos de agua como fuentes de abastecimiento, sus ecosistemas no están siendo resguardados para garantizar la calidad del agua para el servicio de agua potable de muchas poblaciones. Actualmente el embalse Cupapuycito ubicado en la Ciudad de Upata, Municipio Piar, Estado Bolívar, se encuentra inmerso en una situación que genera inquietud en los upatenses. A través de denuncias la población expresa, que las aguas del embalse están siendo comprometidas por las diferentes actividades antropogénicas que están siendo desarrolladas en la zona protectora del embalse, acelerando niveles de eutrofización que generan el crecimiento incontrolado de plantas acuáticas como el Lirio de agua, también conocida como Jacinto o Bora “*Eichhornia Crassipes*”, que perjudican tanto al espejo de agua como al ecosistema del embalse, e interfiere en la vida acuática.

En los sectores semirurales Sabaneta y Sabanetica a 12 y 3 kilómetros de la ciudad de Upata, se evidencia deforestación de bosques donde se cultivan hortalizas

y otros rubros, al igual que la cría de animales para la ganadería, en las adyacencias del embalse.

Las aguas de escorrentía o también llamadas aguas pluviales, transportan contaminantes productos de estas actividades, como sustancias toxicas, fertilizantes, pesticidas, plaguicidas, excretas de animales, etc., por medio de drenajes superficiales que se dirigen al embalse, convirtiendo al cuerpo de agua no apto para beber, nadar y pescar, perjudicando la salud, crecimiento y capacidad de reproducción de peces, al igual que sedimentos que enturbian las aguas, bloquean la luz solar a las plantas y asfixian la vida que se desarrolla en el fondo del embalse.

Según el Ingeniero Forestal Moreno, quien ha investigado “El Diagnóstico de la Zona Protectora del Embalse”, (2013), señala que:

Ante las amenazas evidentes que tiene la Represa Cupapuycito, esta debe ser protegida de acuerdo a la normativa legal vigente, a fin de evitar su extinción prematura como ha ocurrido como diversas fuentes de aguas cristalinas de los sectores La Carata, la Laguna Larga, Laguna Guacarapo y otros lugares cercanos a la ciudad de Upata (p. 25).

Múltiples consecuencias se pueden presentar producto de esta problemática, que durante el tiempo de no ser controladas pueden llegar a ser parte de una situación con pocas probabilidades de solución, las cuales pueden ser: Extinción progresiva de manantiales, disminución del agua del embalse, daño en el ecosistema, y principalmente daño en la salud pública, con enfermedades hídricas. Cómo se podría disminuir o evitar esta situación, además de desarrollar planes de concientización ambiental a los habitantes de la ciudad de Upata y los sectores Sabaneta y Sabanetica, las aguas de lluvias que arrastran contaminantes al embalse, deben ser colectadas para tratarlas con procesos biológicos (lagunas o humedales) que puedan eliminar o disminuir los contaminantes, evitando la descarga directa de vertidos en las aguas del embalse Cupapuycito.

Muchos embalses de Venezuela, sufren desde hace mucho tiempo este tipo de contaminación. No está demás decir que esta problemática en Cupapuycito tiene una fecha desde 1960 hasta nuestros días, y es por eso la preocupación del deterioro en la salud pública entre los habitantes, ya que piden a las autoridades cumplir con las leyes vigentes que el caso requiera.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Estudiar los procesos biológicos (lagunas y humedales) para las aguas de escorrentía superficial, que drenan al embalse Cupapuycito, desde el sector Sabanetica, Municipio Piar, Upata, Estado Bolívar.

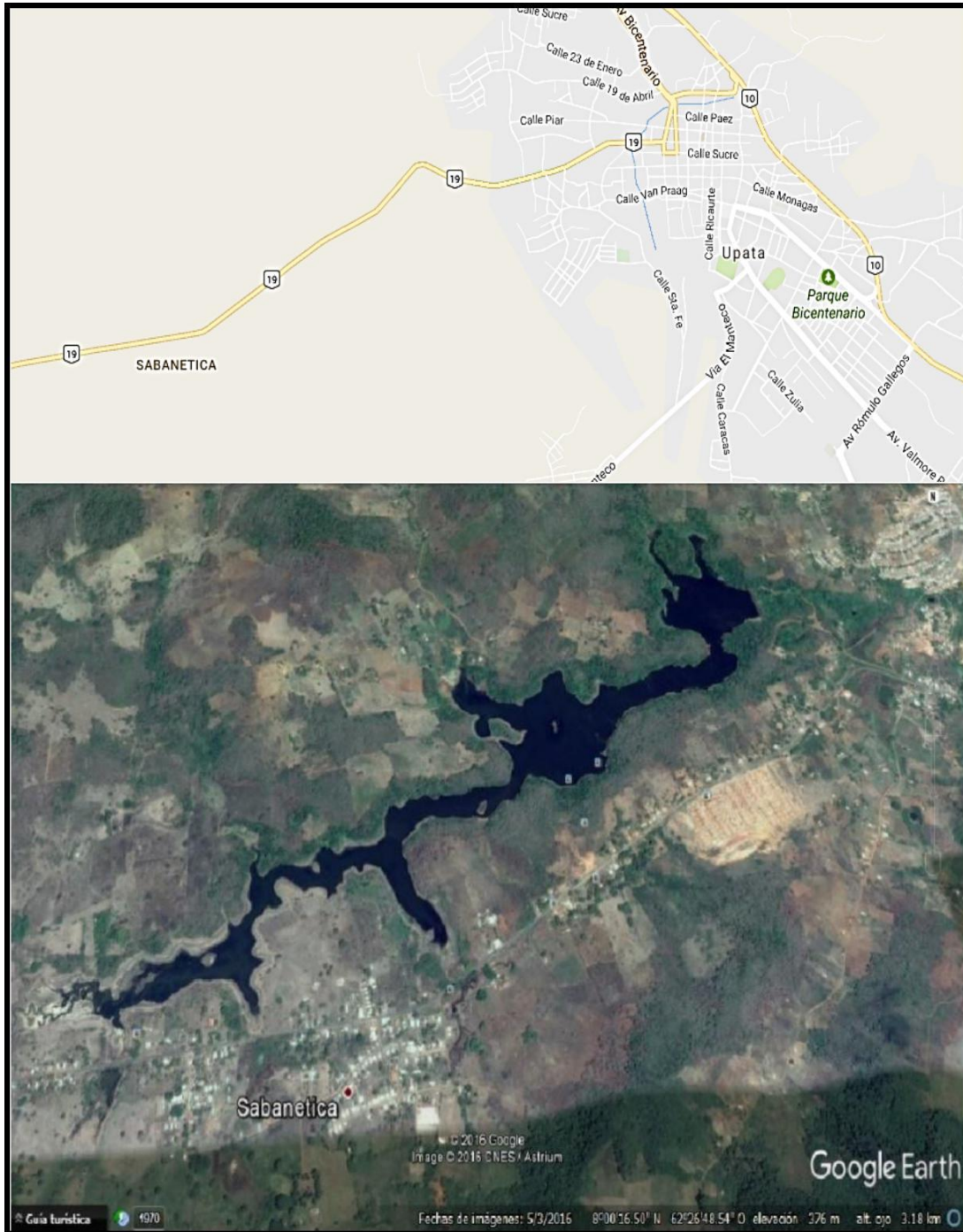
### **Objetivos Específicos**

- Describir las características físico naturales de la zona de estudio.
- Realizar un análisis físico, químico y bacteriológico del agua del embalse Cupapuycito.
- Determinar la hidrometría en la zona de estudio.
- Evaluar la factibilidad de implementar sistemas de recolección de aguas de escorrentías superficiales.
- Diseñar un sistema de tratamiento para aguas de escorrentía superficial.

## **Delimitación**

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad evaluar los procesos biológicos de las aguas de escorrentía superficial, que drenan al embalse

Cupapuycito, desde el sector Sabanetica, Municipio Piar, Upata, Estado Bolívar. Asimismo, se tomarán en cuenta datos hidrometeorológicos, y visitas en la zona.



*Figura 1.* Vista y ubicación de Sabanetica y el embalse Cupapuycito. Tomado del programa Google Maps y google Earth (2016).



Según el profesor Carlos Lira en su blog Ambiente y Sociedad (Mayo, 2010):

Los embalses de Pao Cachinche y Pao la Balsa son los depósitos de agua que suplen la aducción total del Acueducto Regional del Centro...El principal aporte hídrico de estas represas proviene del Río El Paíto, el cual acusa un alto grado de contaminación como producto de los detritus provenientes de las actividades agrícolas e industriales que se desarrollan en sus riberas y de las aguas servidas originadas en los municipios. (párr. 1)

El embalse Cupapucito en Upata, presenta síntomas similares de contaminación, provenientes de actividades agropecuarias de los sectores de Sabaneta y Sabanetica. Actualmente se ha evidenciado la planta acuática Bora en su espejo de agua, alertando la presencia del fenómeno de eutrofización.

Dada la importancia que tiene las fuentes de abastecimiento para agua potable en las poblaciones de todo el territorio venezolano, y en este caso el embalse Cupapucito para la ciudad de Upata, el presente Trabajo Especial de Grado se basa en determinar una solución de tipo biológico (lagunas y humedales) que dé respuesta a mitigar el impacto negativo en el equilibrio ecológico del embalse.

## **Capítulo II**

### **Marco Teórico**

#### **Antecedentes**

Para este Trabajo Especial de Grado se acudió a diferentes fuentes relacionadas con el tema, e investigaciones realizadas en el sitio para la recolección tanto en datos como en información, que ayudaron al desarrollo del mismo.

Upata, Venezuela, Moreno (2013) de la Universidad Nacional Experimental de Guayana, en su trabajo de investigación titulado, “Diagnóstico de la zona protectora del embalse Cupapuycito en el municipio Piar, Upata – Estado Bolívar”, elaboró un diagnóstico para conocer la realidad socio- ambiental de las comunidades, habitadas dentro del área de influencia de la zona protectora del embalse de Cupapuycito, evidenciando que la zona protectora del embalse, presenta varios problemas de contaminación en las cercanías, por actividades agrícola y ganaderas entre las que se encuentran el sector Sabanetica, Chapire y la Caramuca agrícola.

Puerto Ordaz, Venezuela, Greschak (2011) de la Universidad Católica Andrés Bello, en su trabajo de investigación titulado, “Propuesta para la adecuación, con enfoque sistémico, del acueducto Cupapuycito- Sabaneta, ubicado en el municipio Piar del estado Bolívar”, diseñó un sistema de adecuación de acueducto y planta potabilizadora para satisfacer el servicio de agua potable a los sectores de Sabaneta y Sabanetica, Upata, Estado Bolívar.

Puerto Ordaz, Venezuela, De Grazia y Natera (2016) de la Universidad Católica Andrés Bello, en su trabajo de investigación titulado, “Propuesta de

adecuación del Río Yocoima con fines de abastecimiento de agua potable para un sector Upata, estado Bolívar”. Diseñaron dos lagunas de maduración en serie para lograr una reducción de los coliformes fecales de las aguas del río Yocoima, para así adecuarla a aguas tipo sub-tipo 1B y poder emplearlas con fines de aprovechamiento.

Puerto Ordaz, Venezuela, Alvarez y Castel (2013) de la Universidad Católica Andrés Bello, en su trabajo de investigación titulado, clasificación de riesgo de inundación por la rotura de una presa. Caso de estudio: Presa Cupapuycito, Upata, Estado Bolívar. Demostró por medio de simulaciones de la capacidad de respuesta del cauce ante las descargas del aliviadero, modelando caudales picos según el periodo de retorno establecido, en las áreas superficiales de flujo de inundación, el modo de falla más probable de la presa.

## **Referencias teóricas**

Para el desarrollo y entendimiento del tema en investigación, es necesario comprender conceptos y definiciones que a continuación se presentan:

### **Aspectos hidrológicos**

#### ***Ciclo hidrológico***

Es el proceso por medio del cual el agua se evapora de la superficie terrestre, pasa a la atmosfera, y regresa a las fuentes originales por medio de la precipitación y el escurrimiento. Este no tiene ni principio ni fin. (Suárez, 1993, p. 2-2).

El ciclo hidrológico es un ciclo natural donde el agua cumple un proceso de acuerdo a sus diferentes fases, cumpliendo este con la vitalidad del mundo, es indispensable en cada ser vivo ya que esta es un gran elemento para el desarrollo de

estos. Sus componentes son la precipitación, evapotranspiración y escorrentía, cada uno de ellos descritos a continuación:

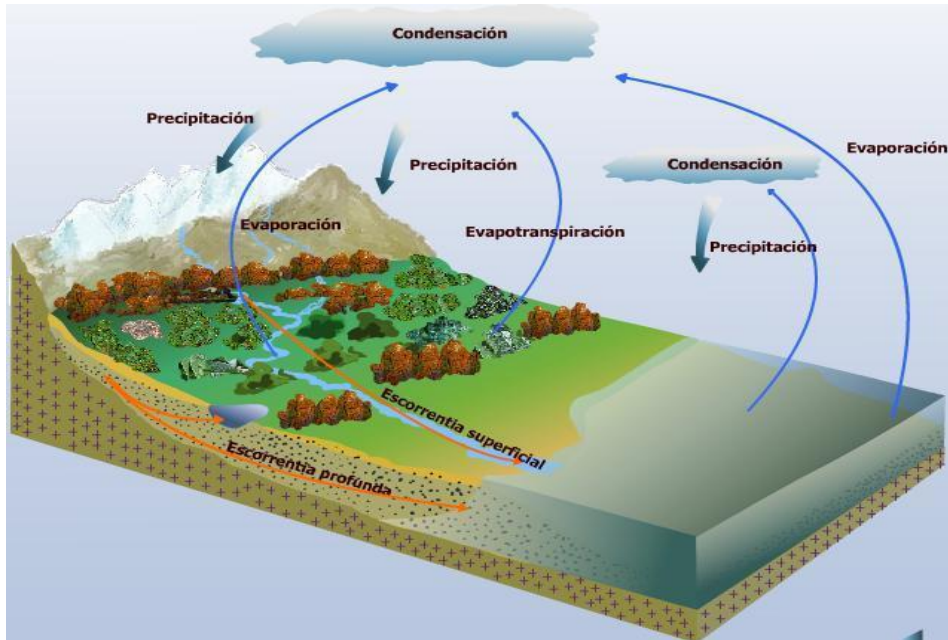


Figura 3. Ciclo del agua.

### ***Componentes del ciclo hidrológico***

*Escorrentía.* Este término se refiere a los diversos medios por los que el agua líquida se desliza por la superficie del terreno.

*Escorrentía superficial.* Es el flujo del agua, de lluvia u otras fuentes, sobre la tierra que pueden recoger o arrastrar contaminantes del suelo

*Escorrentía subterránea.* Son las aguas que fluyen o se infiltran en los suelos por mucho tiempo en ellos, con un recorrido lento hasta acuíferos o al mar.

*Precipitación.* Se produce cuando las gotas de agua que forman las nubes se enfrían acelerándose la condensación y uniéndose las gotitas de agua para formar

gotas mayores que terminan por precipitarse a la superficie terrestre en razón a su mayor peso.

*Evapotranspiración.* Es el transporte de evaporación de agua provenientes del suelo transportado ascendentemente por las raíces y tallos de las plantas y finalizando la evaporación a través de las hojas.

### ***Precipitación***

Para fines prácticos se considerará en el sucesivo solamente la precipitación pluvial.

*Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.* Suárez, (1993), “La duración de la lluvia, es el tiempo durante el cual la misma precipita sobre la zona en estudio. La intensidad es la cantidad de agua que cae en un tiempo dado” (p. 2-4).

La frecuencia de una lluvia o periodo de retorno estadísticamente es el promedio de años entre la ocurrencia de una precipitación de cierta intensidad y otra precipitación igual o mayor que la primera (Suárez,1993, p. 2-4)

Camacho, (2004) “Es la relación entre la intensidad de la lluvia, el tiempo durante el cual ocurre la frecuencia con la cual se repite. En el caso de precipitaciones es común que los resultados se visualicen bajo la forma de curvas IDF” (p. 18).

### ***Escorrentía***

La magnitud del escurrimiento directo, el cual se podría definir como el que tiene lugar sobre la superficie del terreno y a través de las capas más superficiales del mismo, depende de la cantidad y tipo de vegetación de la cuenca. Hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje.

*Coeficiente de escorrentía.* Camacho, (2004) “Es una relación entre la lluvia total y las pérdidas, considerándose pérdidas a la infiltración, evaporación, transpiración e intercepción...” (p. 44).

Tabla 1.

*Coeficiente de escorrentía “C”*

| COBERTURA<br>VEGETAL            | TIPO DE<br>SUELO | PENDIENTE DEL TERRENO "C" |             |             |             |              |  |
|---------------------------------|------------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--|
|                                 |                  | Pronunciada<br>50%        | Alta<br>20% | Media<br>5% | Suave<br>1% | Despreciable |  |
| SIN<br>VEGETACION               | Impermeable      | 0.80                      | 0.75        | 0.70        | 0.65        | 0.60         |  |
|                                 | Semipermeable    | 0.70                      | 0.65        | 0.60        | 0.55        | 0.50         |  |
|                                 | Permeable        | 0.50                      | 0.45        | 0.40        | 0.35        | 0.30         |  |
| CULTIVOS                        | Impermeable      | 0.70                      | 0.65        | 0.60        | 0.55        | 0.50         |  |
|                                 | Semipermeable    | 0.60                      | 0.55        | 0.50        | 0.45        | 0.40         |  |
|                                 | Permeable        | 0.40                      | 0.35        | 0.30        | 0.25        | 0.20         |  |
| PASTOS-<br>VEGETACION<br>LIGERA | Impermeable      | 0.65                      | 0.60        | 0.55        | 0.50        | 0.45         |  |
|                                 | Semipermeable    | 0.55                      | 0.50        | 0.45        | 0.40        | 0.35         |  |
|                                 | Permeable        | 0.35                      | 0.30        | 0.25        | 0.20        | 0.15         |  |
| HIERBA,<br>GRAMA                | Impermeable      | 0.60                      | 0.55        | 0.50        | 0.35        | 0.30         |  |
|                                 | Semipermeable    | 0.50                      | 0.45        | 0.40        | 0.35        | 0.30         |  |
|                                 | Permeable        | 0.30                      | 0.25        | 0.20        | 0.15        | 0.10         |  |
| BOSQUES-<br>DENSA<br>VEGETACION | Impermeable      | 0.55                      | 0.50        | 0.45        | 0.40        | 0.35         |  |
|                                 | Semipermeable    | 0.45                      | 0.40        | 0.35        | 0.30        | 0.25         |  |
|                                 | Permeable        | 0.25                      | 0.20        | 0.15        | 0.10        | 0.05         |  |

*Nota:* Adaptado de *Diseño de Obras de drenaje, drenaje urbano y diseño de alcantarillas*, (p. 45) por F. Camacho, 2004, Venezuela. Derechos reservados por el Ing Francisco Camacho.

*Tiempo de concentración.* Es el tiempo que tarda una gota en recorrer el trayecto desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto considerado, dependiente de la pendiente y velocidad. Determinándose con la siguiente ecuación (Suárez, 1993. p. 2-15).

(1)

*Tiempo de concentración superficial.* Correspondiente al escurrimiento sobre laderas y planicies, hasta alcanzar el curso de agua más cercano (min, horas). Este

proporcional a la pendiente media de una ladera y puede ser determinado mediante la ecuación (Suárez, 1993. p. 2-16).

$$\frac{\Delta L}{\Delta H} = \frac{M}{T_{cs}} \quad (2)$$

Dónde:

Tcs: Tiempo de concentración superficial (min).

$\Delta L$ : Recorrido superficial (m).

$\Delta H$ : Desnivel (m).

M: Coeficiente en función del tipo de cobertura vegetal.

Tv: Tiempo de viaje a través de los cauces hasta el sitio de cálculo (min, horas).

Al alcanzar el escurrimiento el primer curso de agua que encuentre a su paso, se considera que comienza el viaje hasta el punto de contracción. El tiempo de viaje, puede estimarse expresado con la ecuación de Kirpich (Suárez, 1993. p. 2-17):

$$T_v = \frac{L}{V} \quad (3)$$

Tabla 2.

*Valores de M para diferentes coberturas vegetales*

| Tipo de cobertura                            | M (m/min) |
|----------------------------------------------|-----------|
| Bosque húmedo tropical                       | 50        |
| Cultivos terraceados, pastos altos, barbecho | 100       |
| Potrerros, pastos cortos                     | 140       |
| Cultivos en hilera                           | 180       |
| Ninguna vegetación                           | 200       |

*Nota:* Adaptado de *Presas de corrección de torrentes y retención de sedimentos*, (p. 2-17), por L. Suárez, 1993, Venezuela. Derechos reservados por Luis Miguel Suárez.  
*Período de retorno.* Suárez, (1993)

La frecuencia o también llamada periodo de retorno, se define estadísticamente como el numero promedio de años entre la ocurrencia de una precipitación de cierta intensidad y otra precipitación igual o mayor que la primera, y se denomina  $T_r$ . Cuando se dice, por ejemplo, que el periodo de retorno de una lluvia es de 25 años, ello no significa que se presenta una precipitación igual o mayor que la considerada cada 25 años, sino que, en promedio, en una serie muy larga de años, ocurrirá con dicha frecuencia (p. 2-4).

*Hidrograma.* Martínez, Martínez, Castaño (2006) “Es la curva que representa gráficamente los caudales por un punto del cauce de un río en función del tiempo refleja el efecto de la precipitación sobre una cuenca en un punto del cauce del río que la drena” (p.59).

Los hidrogramas son el máximo interés en el estudio hidrológico de las cuencas.

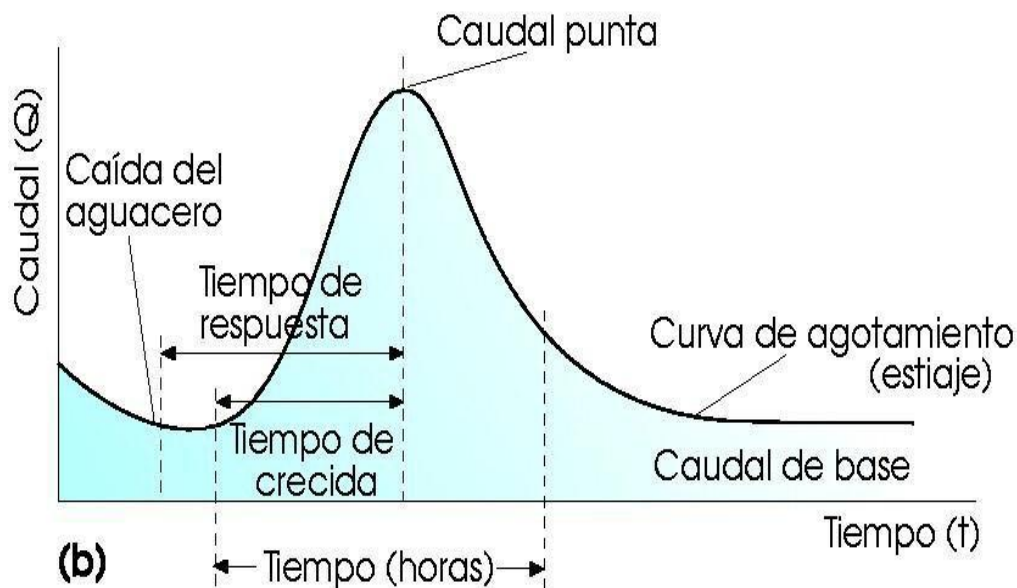


Figura 4. Hidrograma.

## **Cálculo de caudales pico**

Estos caudales se calculan por formulas empíricas, métodos directos e indirectos, pero en nuestro país la medición de caudales se realiza solo para los grandes ríos, por lo tanto, los métodos directos tienen poca aplicación en drenaje menor y drenaje urbano. (Camacho, 2004, p. 52).

Camacho, (2004) Los métodos indirectos más utilizados en drenaje urbano son: El método Racional y el método del Hidrograma Triangular, además existen infinitos métodos que se pueden consultar en libros de hidrología. (Camacho, 2004, p. 52), el cual en la presente tesis de grado tomaremos en cuenta estos métodos con los diferentes factores que influyen para la determinación del caudal pico.

Estos numerosos métodos que permiten calcular el caudal pico de una crecida para un determinado periodo de retorno, debe ser seleccionado por el proyectista para el dimensionado del aliviadero de la presa. (Suárez, 1993 p.2-21).

### ***Método racional***

Suárez, (1993) “La principal limitación del método es que no toma en cuenta el efecto de almacenamiento en la cuenca y en los cauces, donde se presenta la ecuación básica del caudal pico” (p. 2-24):

$$/ \quad (4)$$

Dónde:

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad de la lluvia (l/s. Ha)

A: Área de la cuenca de drenaje (Ha)

Según Camacho, (2004) explica:

- a.- El pico de flujo se obtiene cuando toda el área está contribuyendo.
- b.- La intensidad de la lluvia es la misma sobre toda el área de escurrimiento ( $i=\text{cte}$ ).
- c.- Esta intensidad permanece constante durante la duración de la lluvia y esta última se toma igual al tiempo de concentración ( $\text{Dur}=\text{Tc}$ ).
- d.- El periodo de retorno del pico de creciente se considera igual a periodo de retorno correspondiente al de la intensidad de lluvia. (Una intensidad de lluvia cuyo período de retorno es de 10 años, produce un caudal pico cuyo período de retorno es de 10 años).
- e.- El coeficiente de escorrentía permanece constante para todas las lluvias y periodos de retorno.
- f.- El coeficiente de escorrentía es contante con el tiempo, ignora el efecto de almacenamiento o retención temporal en las superficies, conductos y cauces, el cual es mayor mientras más impermeable sea el área; por lo tanto, el coeficiente de escorrentía sólo será constante para áreas impermeables. (p. 52).

### ***Método del hidrograma triangular***

Este método permite determinar, además del caudal pico de diseño, el volumen de escurrimiento y el tiempo al pico. En la figura 5, se muestra el Hidrograma curvilíneo de una creciente y la forma en que se representa por medio de un Hidrograma triangular en la figura 6 (Suárez, 1993, p. 2-32).

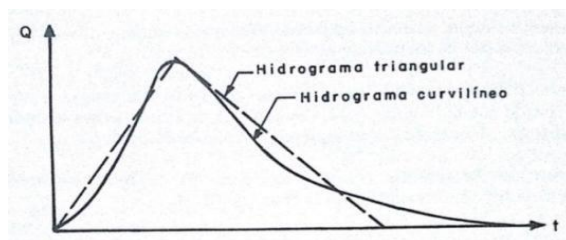


Figura 5. Hidrograma triangular. Tomado de *Presas de corrección de torrentes y retención de sedimentos*, (p. 2-33), por L. Suárez, 1993, Venezuela. Derechos reservados por Luis Miguel Suárez.

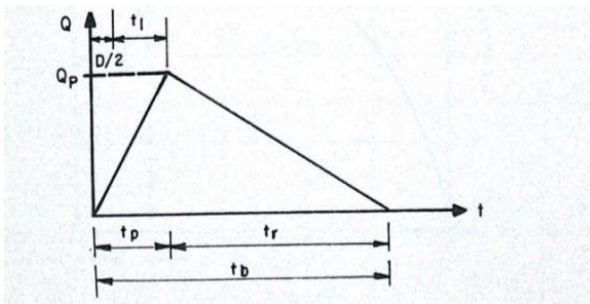


Figura 6. Parámetros del hidrograma triangular. Tomado de *Presas de corrección de torrentes y retención de sedimentos*, (p. 2-33), por L. Suárez, 1993, Venezuela. Derechos reservados por Luis Miguel Suárez.

De las relaciones de triángulos de la figura 6, se obtiene para el volumen total  $V$  de la creciente, el cual se describe como la multiplicación del área del triángulo por el área de estudio.

A los parámetros del Hidrograma triangular, se utilizan las siguientes formulas descritas por (Suárez, 1993, p.2-35, 2-36):

Ecuación del Caudal Pico del Hidrograma:

$$\text{Caudal Pico} = \frac{Q_p}{A} \quad (5)$$

Dónde:

$Q_p$ : caudal pico del hidrograma ( $m^3/s$ ).

$A$ : área de la cuenca ( $Km^2$ ).

$LL_e$ : lluvia efectiva (mm).

$T_p$ : tiempo de pico (horas).

Ecuación de la lluvia efectiva, (Suárez, 1993, p. 2-36):

$$(6)$$

Ecuación de la lámina de lluvia:

(7)

Ecuación de tiempo de pico (Suarez, 1993, p. 2-36):

$$\frac{L}{\sqrt{L}}$$

(8)

Y para la Ecuación de tiempo base (Suarez, 1993, p. 2-36):

(9)

Tabla 3.

*Tiempos de retardo para diferentes tiempos de concentración en cuencas de Venezuela.*

|           |   |      |      |   |
|-----------|---|------|------|---|
| Tc(horas) | 0 | 1    | 2    | 3 |
| T1/Tc     | 1 | 0,82 | 0,72 |   |

*Nota:* Adaptado de *Presas de corrección de torrentes y retención de sedimentos*, (p. 2-17), por L. Suárez, 1993, Venezuela. Derechos reservados por Luis Miguel Suárez.

### **Balance hídrico**

El balance hídrico representa los efectos prácticos de la naturaleza por medio del principio de la Ley de la conservación de la masa, que ha de cumplirse, para cualquier cuenca cerrada y para un intervalo de tiempo determinado. (Martínez, 2006, p.22).

El balance hídrico consiste en la diferencia entre el total de entradas menos el total de salidas, que debe ser igual a la variación de almacenamiento en relación con el tiempo.

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{VARIACIÓN EN EL ALMACENAMIENTO.}$$

Como balance hídrico en una cuenta, se le conoce como: Variación en el almacenamiento = Precipitación – Evapotranspiración – escorrentía. (Martínez, 2006, p.23).

Esta se puede complicar cuando la cuenca no es cerrada, si hay intercambio de agua, natural o artificialmente, con otras cuencas más o menos lejanas.

Según Leonardi existen varios tipos de balance hídrico según el espacio donde se realicen y el objetivo que tengan, (2016)

- En un embalse para determinar las aportaciones al embalse.
- En un embalse para el cálculo de su efecto laminador sobre una creciente.
- En el suelo edáfico o en la zona radicular para el cálculo de la escorrentía total o excedentes.
- En un tramo de un río entre dos estaciones hidrométricas con el propósito de determinar cómo se transmite la creciente y las pérdidas por infiltración a través del lecho del río.
- En un acuífero entre dos fechas dadas en las cuales se conocen los flujos de entrada y de salida, con el objeto de determinar la recarga. (p. 7).

### **Cuantificación de los componentes del balance hídrico**

#### ***La Precipitación.***

*Medida de la precipitación.* Se mide con pluviómetros, que muestran la precipitación que se produce en un intervalo de tiempo determinado. Considerando el

intervalo de tiempo, existen pluviómetros no registradores, pluviómetros registradores o pluviógrafos, y pluviómetros totalizadores. (Martínez, Martínez, Castaño, 2006, p.24-25).

Los pluviómetros no registradores, consisten en un receptáculo de forma cilíndrica que finaliza en un embudo por el que el agua llega a un depósito diseñado para reducir la evaporación (Martínez, Martínez, Castaño, 2006, p 25)

*Validación de los datos y obtención de series de precipitación.* Las estaciones base, se encuentran en toda la red pluviométrica especialmente ciudades que se refieren la fiabilidad de sus datos. Se utilizan para validar los datos obtenidos en otras estaciones de su entorno. (Martínez, Martínez, Castaño, 2006, p.26).

Por medio del método de las dobles masas o dobles acumulaciones, comparando, se usan los datos pluviométricos, para la serie pluviométrica de la estación problema con la misma serie medida en la estación base. (Martínez, Martínez, Castaño, 2006, p.26).

*Determinación de secuencias de años secos y húmedos.* En la interpretación de aportaciones de agua a una cuenca como consecuencia de la precipitación, es debe conocer el tipo de secuencia se encuadran esas aportaciones por medio de una curva de desviaciones acumuladas con respecto a la media, (Martínez, Martínez, Castaño, 2006, p.35).

*Cálculo del volumen de agua precipitado sobre una cuenca.* Generalmente el cálculo se realiza para la precipitación media de una secuencia seca representativa, para la media de una secuencia húmeda representativa, años más seco del periodo y para el año más húmedo del período. (Martínez, Martínez, Castaño, 2006, p.26). El volumen de agua se calcula en litro, multiplicando la precipitación en mm por el área de la cuenca en  $m^2$ , además puede calcularse con los métodos clásicos volumen de

agua precipitado sobre una cuenca, que son la media aritmética, polígonos de Thiessen e Isoyetas.

Tabla 4.

*Capacidad de almacenamiento ( $ALM_{max}$ ) según la textura dominante en los primeros 100 cm del perfil de suelo.*

| <b>Textura dominante</b> | <b>Profundidad (cm)</b> | <b>Lámina de almacenamiento máxima (<math>ALM_{max}</math>)</b> |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Gruesa                   | 100                     | 60 mm/m                                                         |
| Media                    | 100                     | 80mm/m                                                          |
| Fina                     | 100                     | 100 mm/m                                                        |

*Nota:* Tomado del *Plan de manejo de la cuenca del río Caroní*, (p. 3.4), por la empresa hidroeléctrica del Estado Bolívar, s.f, Venezuela. Derechos reservados por CV.G EDELCA.

### ***Evapotranspiración***

Es un parámetro difícil de estimar, depende de factores ligados a la meteorología, vegetación y suelo que condicionan su capacidad de almacenamiento de agua. (Martínez, 2006, p.26).

La Evapotranspiración se distingue por evapotranspiración potencial (ETP) y evotranspiración real (ETR). La evapotranspiración real se refiere a la cantidad de agua realmente utilizada por los cultivos en las condiciones de clima dadas y de acuerdo con el abastecimiento natural de agua mediante las precipitaciones, y la evapotranspiración potencial es el volumen de agua que pasaría a la atmosfera en forma de vapor como consecuencia de la evaporación directa y de la transpiración de las plantas, sin depender tanto de estas. (Martínez, Martínez, Castaño, 2006, p.48).

*Cálculo de la evapotranspiración.* Martínez, Martínez, Castaño, (2006), La fórmula de Thorntwhaite expresa la evapotranspiración potencial en función de la

temperatura media mensual y el índice de calor anual”. (p.50). Para  $n= 12$  horas y  $d= 30$  días, el cual se expresa:

$$\frac{ETP}{C} \quad (10)$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración potencial (mm/mes).

C: Constante que vale — —

n: Número máximo de horas de sol según la latitud (Ver Anexo X).

d: Número de días del mes.

I: Índice de calor anual que vale la sumatoria de los i.

i: Índice de calor mensual. Que se expresa como:  $\frac{t}{d}$ ; t: Temperatura media diaria del mes (°C).

a: Cociente que se obtiene de la siguiente tabla con el valor de I

Ecuación del cociente del valor del Índice de calor anual, (Martínez, Martínez, Castaño, 2006 p.50):

Martínez, Martínez, Castaño (2006), “La fórmula de Thorntwhaite es generalmente aplicable a zonas de latitudes medias con precipitaciones abundantes en la estación estival. En regiones áridas y semiáridas, con lluvias en otoño e invierno y veranos secos, proporciona valores sensiblemente inferiores a los reales” (p. 57).

Para la ETP existen varias fórmulas con distintos autores, como la de Blaney y Criddle que relaciona la ETP con las horas de luz y la duración del período de crecimiento de las plantas, y Penman que la calcula multiplicando la evaporación en

superficie de agua libre por un factor reductor deducido del grado de correlación entre los valores de evapotranspiración y evaporación medidos experimentalmente.

### **Cómputo del balance hídrico**

Para la realización de un Balance hídrico se debe considerar los siguientes criterios, según el C.VG EDELCA, (s.f):

El almacenamiento (ALM), que es la cantidad de agua disponible, retenida en el suelo en periodo de tiempo determinado y se calcula de la forma siguiente:

El almacenamiento nunca puede ser mayor que la capacidad de almacenamiento del suelo definida por el grupo textural, ni menos que cero.

Variación de almacenamiento (VAR<sub>t</sub>), es la diferencia entre almacenamiento del mes anterior y el actual.

El consumo atmosférico real de humedad (ETP) será igual a la precipitación más la cantidad que se toma del suelo, es decir:

El exceso de humedad (EXC<sub>t</sub>) en el balance, representa aquella lámina de agua que supera la capacidad de almacenamiento del suelo y se define cuantitativamente como la diferencia entre la PP<sub>t</sub> y la ETR<sub>t</sub>, según:

El déficit (DEF<sub>t</sub>): es la demanda evapotranspirativa no satisfecha por los aportes de agua y se define cuantitativamente como la diferencia entre la ETP<sub>t</sub> y la ETR<sub>t</sub>, según:

## **Contaminación de las aguas**

De acuerdo con el artículo 2 de la Gaceta Oficial N° 35595 es la presencia de compuestos capaces de modificar las condiciones del cuerpo de agua superficial o subterráneo de manera que se altere su calidad en relación a la ecología, vida acuática y ribereña” (ley de aguas, 2007, p.1).

## **Aguas residuales**

Son aguas que una vez que abastecen a una población, son modificadas por diversas actividades domésticas, industriales y comunitarias, siendo recogidas por una red de alcantarillados que las conducirá hacia un destino apropiado (Rolim, 2000, p.1).

### ***Origen de las aguas residuales***

Las aguas residuales son la combinación de líquidos, residuos sólidos, residuos industriales y actividades agrícolas, así como también de aguas subterráneas, superficiales y algunas veces de precipitación, que se clasifican según su origen (Rolim, 2000, p.1).

*Domésticas.* Son aquellas que aguas utilizadas con fines higiénicos (sanitarios, cocinas, lavanderías, etc), básicamente residuos humanos que llegan a las redes de alcantarillados, por medio de descargas de instalaciones hidráulicas y residuos originados en establecimientos comerciales, públicos, y similares (Rolim, 2000, p. 1).

*Infiltración y caudal adicionales.* En sistemas de drenajes urbanos, estas aguas descargan al sistema de alcantarillado a través de empalmes de tuberías, paredes de tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. Y aguas pluviales, que descargan de canales, drenajes y colectores (Rolim, 2000, p. 2).

*Industriales* Rolim, (2000) “Son residuos líquidos generados en los procesos industriales. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria” (p. 1).

*Pluviales*. Son agua de lluvia, que es drenada por el suelo o escurrida por la superficie, arrastrando arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo (Rolim, 2000, p. 2).

### **Medición de la concentración de contaminantes en aguas residuales**

#### ***Características físicas***

*Turbiedad*. Este parámetro mide el grado en que la luz es absorbida o reflejada por el material suspendido, se puede considerar como una medida del efecto de los sólidos suspendidos en el cuerpo del agua (Gómez, 2000, p. 48).

*Conductividad*. Para la definición de conductividad según Marín es la siguiente:

La conductividad es consecuencia de los electrolitos que lleva disueltos un agua y presenta, lógicamente un valor muy bajo en un agua pura "En un agua natural no con contaminada se cumple que el valor del residuo seco en mg/l, oscila entre 0,5 y 1,0 veces el valor de conductividad, expresada en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Marín, 2003, p. 12,13).

*Temperatura*. Gómez (2000) “La temperatura tiene efectos directos o indirectos sobre la mayoría de las reacciones químicas y bioquímicas que ocurren en el agua y la solubilidad de los gases en el agua.” (p. 51).

*Olor y Sabor*. Son dos parámetros del agua relacionados entre sí. Las fuentes del sabor y el olor del agua son minerales, metales, sales del suelo, productos finales

de reacciones biológicas, y aguas residuales domésticas o industriales (Gómez, 2000, p.51)

*Color.* Gómez (2000), “Se supone que el agua pura no tiene color, sin embargo, los sólidos suspendidos, así como los disueltos en el agua, determinan su color. Los sólidos brindan un color denominado aparente, mientras que los disueltos proporcionan el color verdadero” (p. 49).

#### *Sólidos suspendidos y disueltos.*

Los sólidos suspendidos se refieren "A las partículas orgánicas e inorgánicas, así como líquidos inmiscibles (líquidos que no se mezclan con otra sustancia) que se encuentran en el agua. Dentro de las partículas orgánicas tenemos, entre otros, fibras de plantas, células de algas, bacterias y sólidos biológicos” (Gómez, 2000, p.49)

#### *Características químicas*

*pH.* Si la concentración de ion hidrogeno no es la adecuada, esto es pH ácido o básico, es difícil tratar por medios biológicos un agua residual. (Ramos, Sepúlveda & Villalobos, 2003 p. 23).

*Alcalinidad.* Los efectos más notorios de la alcalinidad en el agua son el sabor amargo en el agua y las reacciones con algunos cationes del agua, lo cual produce obstrucciones en la tubería o sus accesorios, como codo o válvulas. (Gómez, 2000, p.52).

*Dureza.* Cantidad de sales de calcio y magnesio disueltas en el agua. Estos se originan en las formaciones rocosas calcáreas. A veces se da como límite para denominar a un agua como dura una dureza superior a 120 mg CaCO<sub>3</sub>/L”. (Rodríguez, 2010, p. 11).

Tabla 5.

*Clasificación de las aguas dependiendo de la dureza.*

|                |                    |
|----------------|--------------------|
| 0 – 75 mg/l    | Blanda             |
| 76 – 150 mg/l  | Moderadamente dura |
| 151 – 300 mg/l | Dura               |
| > 300 mg/l     | Muy dura           |

*Nota:* Adaptada de *Manual de prácticas de Determinación de la dureza total*, (p.2), por Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad Católica Andrés Bello, 2011, Venezuela. Derechos reservados por Universidad Católica Andrés Bello.

### ***Características biológicas***

*Materia orgánica.* Según Metcalf & Eddy, (1995):

Son sólidos que resultan de los reinos tanto vegetales como animales, además de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos (las proteínas, los hidratos de carbonos, las grasas y los aceites y la urea). Los compuestos orgánicos están integrados normalmente por combinaciones de carbono, hidrogeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fosforo o hierro (p.73).

*Materia inorgánica.* La materia orgánica está constituida principalmente por ácidos, bases, cloruro y metales pesados. Los ácidos y bases son de gran importancia debido a que regulan la cantidad de iones hidronio u oxidrilos, responsables de la variación en el pH. (Roa Márquez, 2001, p. 214).

*Coliformes totales.* En condiciones adecuadas, pueden multiplicarse en presencia de material orgánicos. Algunas especies de Coliformes son asociadas frecuentemente a desechos vegetales o pueden ser habitantes comunes del suelo o de las aguas superficiales. (Organización Panamericana de la salud, 1988, p. 30).

*Coliformes fecales.* En forma específica constituyen un mejor indicador de la contaminación por materia de origen fecal. Idealmente, un sistema de abastecimiento de agua potable debe estar libre de bacterias. (Organización Panamericana de la salud, 1988, p. 30).

*Oxígeno Disuelto (OD).* El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno libre en el agua que no se encuentra combinado ni con el hidrogeno (formando agua) ni con los sólidos existentes en el agua (Creus, 2011, p. 364).

Cuando este se presenta en altos niveles, es indicador de una mejor calidad de agua, y de una buena biodiversidad.

*Demanda bioquímica de oxígeno.* Según la Norma Venezolana COVENIN 2634-02. “Se define como la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para estabilizar la materia orgánica susceptible a degradación bajo condiciones aerobias, en un tiempo dado y a una temperatura específica”. (p. 3).

Para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno, se parte del oxígeno disuelto, tomando los valores del primer y quinto día de ensayo.

Usando la expresión:

/

---

(11)

## **Canales abiertos**

Los canales son conductos en los que el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, puede la superficie libre del líquido está en contacto con la atmosfera. Estos pueden ser naturales Los canales pueden ser naturales (Ríos o arroyos) o artificiales (construidos por el hombre). Dentro de estos últimos pueden incluirse aquellos conductos cerrados que trabajan parcialmente llenos (alcantarillas, tuberías).

Es un sistema de flujo donde este está expuesto a la atmósfera. Este sistema puede ser las canaletas pluviales de un edificio, ríos o corrientes naturales, y además pueden ser construidos para drenajes de fluidos en forma controlada.

### ***Flujo en canales abiertos***

Cengel y Cimbala, (2007) “El flujo en un canal abierto se refiere al flujo de un líquido en canales abiertos respecto a la atmósfera o en un conducto parcialmente lleno y se caracteriza por la presencia de una interface liquido-gas, llamada superficie libre” (p. 680).

### ***Clasificación de flujos en canales abiertos.***

Cengel y Cimbala, (2007)

Se dice que el flujo en un canal es uniforme si la profundidad del flujo (y por tanto la velocidad promedio) se mantiene constante. De otra manera, el flujo es no uniforme o variado, lo cual indica que la profundidad varía con la distancia en la dirección del flujo (p. 680).

*Flujo Permanente.* La velocidad en un punto cualquiera de la sección es constante; es decir, que la variación de la velocidad con respecto al tiempo es cero.

*Flujo permanente y uniforme.* Cumple con la condición de flujo permanente y además tiene en cuenta que la variación de la velocidad con respecto al espacio es igual a cero.

*Flujo permanente y variado.* Será aquel en el cual existirá una variación de la velocidad con respecto al espacio.

*Flujos Permanentes no uniforme gradualmente variado.* La superficie del agua varía en una longitud larga.

*Flujos Permanentes no uniformes rápidamente variado.* La superficie del agua varía en una longitud corta.

### **Clasificación de flujos en canales abiertos dependiendo del número de Reynolds**

Cengel y Cimbala, (2007) “Como el flujo en tuberías, el flujo en un canal abierto puede ser laminar, de transición o turbulento, esto depende del valor del número de Reynolds expresado como:” (p. 681). Siempre se es necesario conocer el valor de Reynolds ya que este nos muestra los distintos factores con que se trabaja para cada uno.

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (12)$$

Dónde:

V: Velocidad promedio del líquido

$R_h$ : Radio hidráulico

$\nu$ : Viscosidad cinemática.

Tabla 6.

*Clasificación de flujos dependiendo del número de Reynolds*

---

|                                                         |                            |                         |
|---------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| <u>lujo laminar</u>                                     |                            |                         |
| Re $\leq$ 2000 en caso de flujo<br>en tuberías.         | <u>Flujo de Transición</u> | <u>Flujo Turbulento</u> |
| Re $\leq$ 500 en caso de flujos<br>de en canal abierto. | 500<Re<2500                | Re>2500                 |

---

*Nota:* Adaptado del Libro Mecánica de Fluidos fundamentos y Aplicaciones, (p. 682) por Y. Cengel y J. Cimbala, 2007, México. Derechos reservados por Yunus A Cengel y Jhon M Cimbala.

### **Clasificación de flujos en canales abiertos dependiendo del Número de Froude**

El flujo en canal abierto se clasifica como subcrítico o tranquilo, critico, y supercrítico o rápido, esto depende del valor del número de Froude adimensional, (p. 683),” (Cengel y Cimbala, 2007, p. 683)

$$\frac{v}{\sqrt{g y}} \leq 1 \quad \text{---} \quad \frac{v}{\sqrt{g y}} > 1 \quad (13)$$

Dónde:

g: Aceleración gravitacional.

v: Velocidad promedio del líquido en la sección

transversal  $l_c$ : Longitud

y: Profundidad del flujo.

Tabla 7.

*Clasificación de flujos dependiendo del número de Froude*

---

| <u>Flujo subcrítico o</u><br><u>tranquilo</u><br>$Fr < 1$ | <u>Flujo Crítico</u><br>$Fr = 1$ | <u>Flujo supercrítico o</u><br><u>rápido</u><br>$Fr > 1$ |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------|
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------|

---

*Nota:* Adaptado del Libro Mecánica de Fluidos fundamentos y Aplicaciones, (p. 683) por Y. Cengel y J. Cimbala, 2007, México. Derecho reservado por Yunus A Cengel y Jhon M Cimbala.

### **Secciones hidráulicas transversales**

Los sistemas de canales abiertos dependen de su perímetro mojado, su radio hidráulico, sus resistencias del flujo, su área de sección transversal, su cierta geometría y su pendiente de fondo, que brindan un mayor criterio para una sección trasversal específica. (Cengel y Cimbala, 2007, p. 695).

Cengel y Cimbala, (2007), “la mejor sección transversal hidráulica para un canal abierto es la que tiene el máximo radio hidráulica o, proporcionalmente, la que tiene menor perímetro mojado para una sección transversal especificada”. (p 695).

Se presenta un resumen de los distintos parámetros de diseño para distintas secciones hidráulicas en la tabla 22, ANEXO A.

### **Movimientos permanentes en canales abiertos**

El flujo uniforme de la pendiente del fondo, es también la pendiente de la superficie del agua (ambas son paralelas). La fórmula de Manning resulta:

$$\frac{V}{R} = \frac{1.49}{n} S^{0.5} \quad (14)$$

Donde:

V= Velocidad media de la sección recta.

R= Radio Hidráulico.

S= Pendiente de fondo.

A= Área de la Sección.

n= coeficiente de rugosidad de Manning.

Tabla 8.

*Valores del coeficiente de rugosidad de Manning. Colectores y drenajes de aguas residuales domésticas y aguas lluvias.*

| Material                                             | N           |
|------------------------------------------------------|-------------|
| <b><u>CONDUCTOS CERRADOS</u></b>                     |             |
| Asbesto – cemento                                    | 0.011-0.015 |
| Concreto prefabricado interior liso                  | 0.011-0.015 |
| Concreto prefabricado interior rugoso                | 0.015-0.017 |
| Concreto fundido en sitio, formas lisas              | 0.012-0.015 |
| Concreto fundido en sitio, formas rugosas            | 0.015-0.017 |
| Gres vitrificado                                     | 0.011-0.015 |
| Hierro dúctil revestido interiormente con cemento    | 0.011-0.015 |
| PVC, polietileno y fibra de vidrio con interior liso | 0.010-0.015 |
| Metal corrugado                                      | 0.022-0.026 |
| Colectores de ladrillo                               | 0.013-0.017 |

| <b><u>CONDUCTOS ABIERTOS</u></b> | <b>N</b>    |
|----------------------------------|-------------|
| Canal revestido en ladrillo      | 0.012-0.018 |
| Canal revestido en concreto      | 0.011-0.020 |
| Canal excavado                   | 0.018-0.050 |
| Canal revestido rip-rap          | 0.020-0.035 |

*Nota:* Tomado del *Manual RAS 2000*, sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales (p. D25). Por Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico de Colombia, 2000, Colombia. Derechos reservados por el Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico de Colombia

### **Lagunas de estabilización**

Las lagunas de estabilización son el método más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Están constituidos por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tienen forma rectangular o cuadrada.

Rolim, (2000), El tratamiento a través de lagunas tiene tres objetivos:

- Remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación.
- Eliminar los microorganismos patógenos que representan un grave peligro para la salud.
- Utilizar su efluente para reutilización, con otras finalidades, como agricultura, por ejemplo.

### ***Biología de las lagunas de estabilización***

En las lagunas de estabilización, existen procesos biológicos, en donde la remoción de la materia orgánica ( $DBO_5$ ), depende del proceso predominante, y las lagunas se definen como aerobias, anaerobias o facultativas. (Rolim, 2000, p.44)

Según Rolim, S., (2000):

En las lagunas anaerobias, la quiebra o biodegradación de la materia orgánica la realizan las bacterias acetogénicas y metanogénicas. Las primeras convierten los compuestos orgánicos complejos de las aguas residuales en moléculas orgánicas más simples. Los carbohidratos, como celulosa y almidón, son convertidos en ácidos orgánicos, aldehídos y alcoholes; los lípidos (grasas y aceites), en glicerol y ácidos grasos que más adelante serán convertidos en alcoholes, aldehídos y ácidos; las proteínas son degradadas hasta aminoácidos y éstos son transformados en ácidos orgánicos más simples, mercaptanas y dióxido de carbono. Los productos de la degradación ácida son el ácido acético (en mayor proporción), los ácidos propiónico y butírico, además de metanol, entre otros. (p.44).

Tabla 9.

*Ventajas y desventajas de los sistemas de lagunas de estabilización*

| VENTAJAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | DESVENTAJAS                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>-Bajo costo</li> <li>-Nulo consumo energético.</li> <li>-Simples de construir y de operar.</li> <li>-Confiables y fáciles de mantener.</li> <li>-Pueden absorber aumentos bruscos de cargas hidráulicas y orgánicas.</li> <li>-Posibilidad de uso con sistemas reguladores para riego.</li> <li>-Fácil adaptación a variaciones estacionales.</li> <li>-Posibilidad de tratar vertimientos industriales fácilmente biodegradables (mataderos, lecherías, industrias de frutas, etc).</li> <li>-Elevada estabilización de la materia</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Necesitan componentes importados.</li> <li>-Necesitan operadores especializados.</li> <li>-Necesitan mantenimiento especializado y repuestos.</li> <li>-Tienden a sobrecargarse.</li> <li>-Elevado consumo de energía eléctrica.</li> </ul> |

|                                                                                                                 |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| orgánica.<br>-Producen un efluente de alta calidad,<br>con excelente reducción de<br>microorganismos patógenos. |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

*Nota:* Tomado de *Sistemas de lagunas de estabilización*, (p.199), por S. Rolim, (2000), Colombia. Derechos reservados por Sérgio Rolim Mendoza.

### ***Clasificación de las lagunas de estabilización***

Las lagunas de estabilización se clasifican en cuatro tipos, lagunas anaerobias, lagunas facultativas, lagunas de maduración, y lagunas aerobias, las cuales se describen a continuación:

*Lagunas Anaerobias.* Según Rolim, (2000), las lagunas anaerobias:

Se diseñan, siempre que sea posible, en conjunto con lagunas facultativas. Su propósito es oxidar compuestos orgánicos complejos antes del tratamiento, a través de los otros tipos de lagunas. No dependen de la acción fotosintética de las algas, por lo tanto, se pueden construir con profundidades mayores a las otras lagunas, con variación de 3 a 5 metros. Su área del nivel medio no debe exceder de 5 ha (p.200).

La estabilización de estas lagunas tiene lugar mediante las siguientes etapas:

- Hidrólisis: los compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en agua.
- Formación de ácidos: los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos. Produciéndose su conversión en ácidos orgánicos volátiles.

- Formación de metano: una vez que se han formado los ácidos orgánicos, una nueva categoría de bacterias actúa y los utiliza para convertirlos finalmente en metano y dióxido de carbono.

*Lagunas Facultativas.* Para la información con respecto a las lagunas facultativas Rolim nos habla que, (2000):

Tienen profundidades que varían de 1,5 a 2,5 metros, con áreas relativamente grandes. La profundidad mínima de las lagunas facultativas primarias debe ser igual a 1,5 metros, mientras que las facultativas secundarias no deben tener profundidades inferiores a 1,2 metros. El área máxima de las lagunas facultativas no debe exceder de 15 ha. Funcionan a través de la acción de algas y bacterias, con la influencia de la luz solar y de la fotosíntesis. La materia orgánica contenida en los desechos se estabiliza, en parte, transformándose en materia más estable en forma de celdas de algas, y en parte, transformándose en productor inorgánicos finales que salen con el efluente. (p.201).

En una laguna facultativa existen tres zonas:

1. Una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica, como se ha descrito anteriormente.
2. Una zona inferior anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias.
3. Una zona intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas. Los sólidos de gran tamaño se sedimentan para formar una capa de fango anaerobio. Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las algas presentes cerca de la superficie. El dióxido de carbono, que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono por las algas. La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango

implica la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y el  $\text{CH}_4$ , que o bien se oxidan por las bacterias aerobias, o se liberan a la atmósfera.

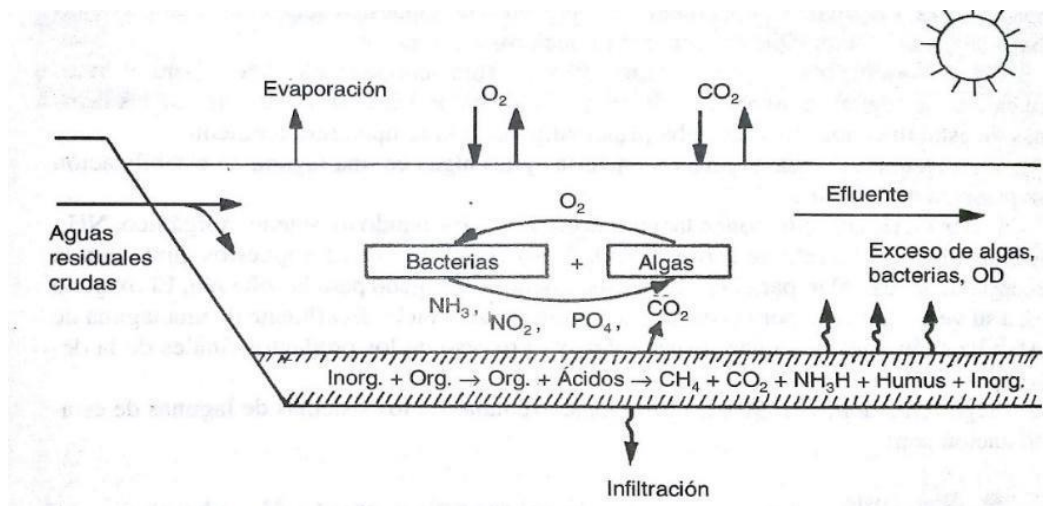


Figura 7. Ecosistema de lagunas facultativas. Tomado de *Sistemas de lagunas de estabilización*, (p.200), por S. Rolim, (2000), Colombia. Derechos reservados por Sergio Rolim Mendoza.

**Laguna de Maduración.** Según Rolim, (2000), las lagunas de maduración:

Tienen la principal finalidad de reducir los coliformes fecales (CF) contenidos en los desechos de las aguas residuales. Se construyen siempre, después del tratamiento completo, por medio de una laguna facultativa primaria o secundaria o de una planta de tratamiento convencional. Con adecuado dimensionamiento pueden conseguirse remociones de coliformes fecales mayores de 99,999%. Tienen profundidades menores que las lagunas facultativas, variando de 0,6 a 1,5 metros. El área máxima de su nivel medio no debe sobrepasar de 2 ha (p.201).

Las lagunas de maduración suelen constituir la última etapa del tratamiento, por medio de una laguna facultativa primaria o secundaria o de una planta de tratamiento convencional, debido a la eliminación de agentes patógenos, si se reutiliza el agua depurada.

*Lagunas Aerobias.* Según Rolim, (2000), las lagunas aerobias:

Son muy poco profundas, por lo general varían de 0,3 a 0,5 metros, su principal aplicación es la producción y cosecha de algas. Se diseñan para el tratamiento de aguas residuales decantadas. Constituyen un poderoso método para la producción de proteínas, por lo tanto, son de 100 a 1000 veces más productivas que la agricultura convencional. (p.201).

El grupo específico de algas, animales o especies bacterianas presentes en cualquier zona de una laguna aerobia depende de factores tales como la carga orgánica, el grado de mezcla de la laguna, el pH, los nutrientes, la luz solar y la temperatura

### **Partes constitutivas de una laguna de estabilización**

#### ***Canales o tuberías de interconexión***

Los emisarios que transportan aguas residuales se identifican como conductos libres. La velocidad mínima debe ser de 0,50 m/s, con el fin de evitar la acumulación de sólidos suspendidos en ellos. Se recomienda utilizar un diámetro de 200 mm. (Rolim, 2000, p.296).

#### ***Obras de arte***

*Dispositivos de entrada.* Para la Rolim (2000), estos dispositivos se describen:

“La llegada de tuberías de entrada a la laguna debe estar situada cerca de las márgenes, a fin de provocar una mezcla eficiente del líquido afluente con la masa líquida, si es posible, con varias tuberías en paralelo para evitar cortocircuitos”. (p.314).

La canalización entre el dique y el punto de descarga puede colocarse sobre el fondo de la laguna o encima del nivel del agua, sobre pilares. Si el caudal no asegura la velocidad mínima de 0,50 m/s, la canalización debe situarse por encima del nivel del agua, con pendientes y diámetros que garanticen la velocidad del caudal por gravedad. Es necesario que toda canalización de entrada posea una caja de inspección en el cuerpo del dique, para poder sondear la tubería cuando sea necesario (p.314).

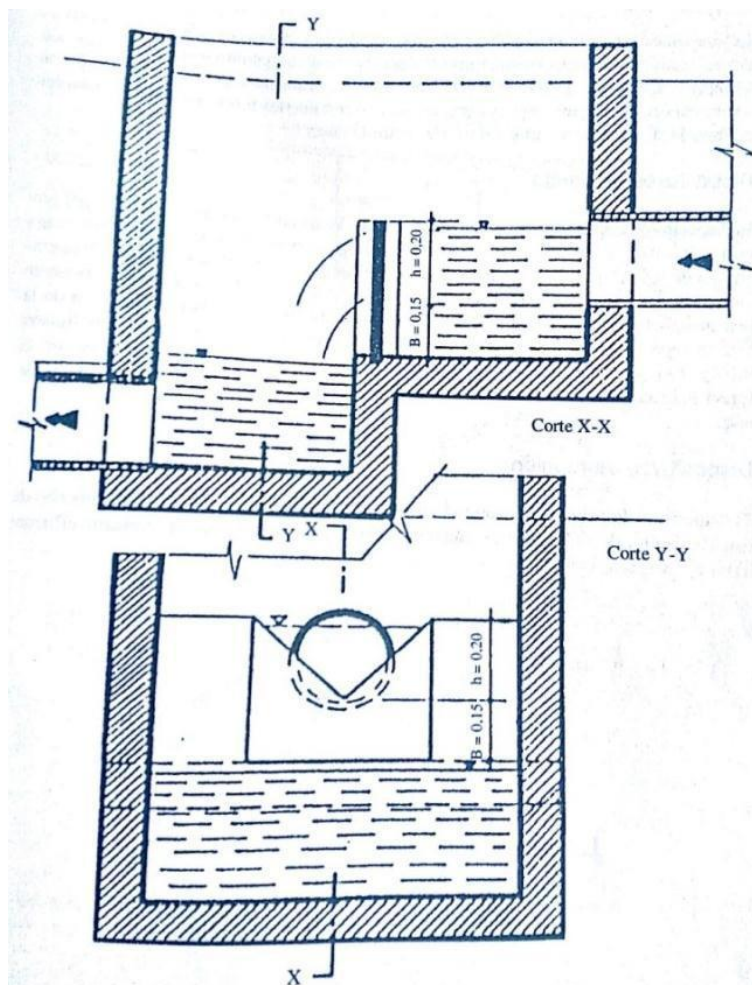


Figura 8. Cortes de la caja del dispositivo de entrada. Tomado de *Sistemas de lagunas de estabilización*, (p.315), por S. Rolim, 2000, Colombia. Derechos reservados por Sergio Rolim Mendoza.

*Dispositivos para la distribución proporcional de caudales entre varias lagunas.* Rolim (2000) menciona:

Cuando dos o más lagunas se operan en paralelo, es necesario proceder a la distribución de la carga, de acuerdo a los criterios preestablecidos. La carga deberá ser proporcional al área del espejo de agua, a fin de garantizar la misma tasa de aplicación en todas las unidades. (p.313).

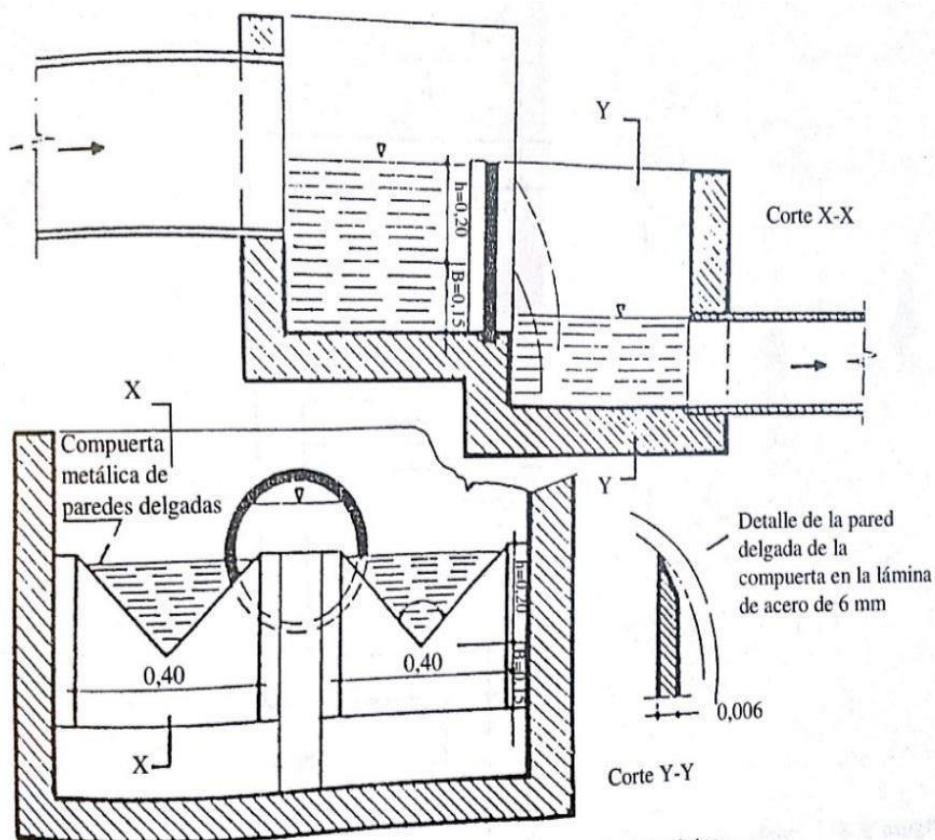
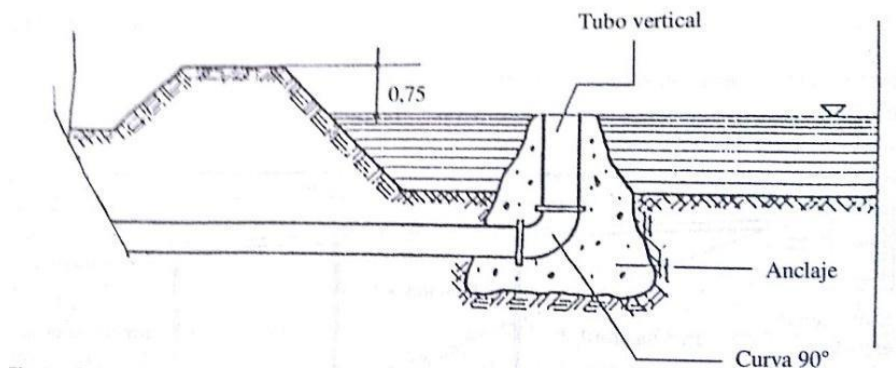


Figura 9. Cortes del dispositivo para la distribución de caudales. Tomado de *Sistemas de lagunas de estabilización*, (p.313), por S. Rolim, 2000, Colombia. Derechos reservados por Sergio Rolim Mendoça.

*Dispositivos de interconexión.* Estos pueden contar con compuertas o válvulas que permitan neutralizar o variar los niveles entre lagunas. Cuando la construcción sea en concreto reforzado, pueden incluirse pantallas proyectadas para impedir que la espuma acumulada en la laguna pase a la siguiente. (Rolim, 2000, p.316).

*Dispositivos de salida.* Son semejantes a los de entrada. Generalmente están constituidos por una caja junto al dique en el punto de descarga, ésta tiene en uno de sus lados un vertedero ajustable entre los niveles máximo y mínimo de operación. Normalmente la caja tiene una solera abajo, en el fondo, con una compuerta que permite el vaciado completo de la laguna. (Rolim, 2000, p.316).



*Figura 10.* Estructura de salida superficial. Tomado de *Sistemas de lagunas de estabilización*, (p.318), por S. Rolim, 2000, Colombia. Derechos reservados por Sergio Rolim Mendoça.

*Dispositivos de reunión.* Rolim (2000) “El dispositivo de reunión es idéntico a un pozo de registro que recibe todas las tuberías de entrada y salida de las lagunas de cada serie, y las descarga por medio del emisario efluente hasta el cuerpo receptor”. (p.316).

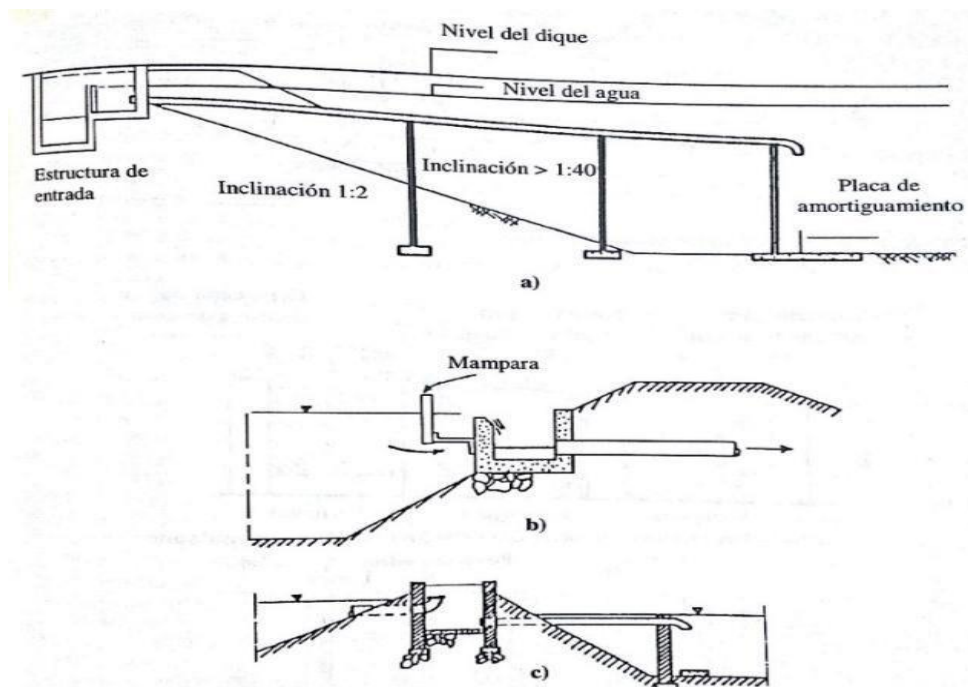


Figura 11. Detalles de entrada, salida e interconexiones de las lagunas. Tomado de *Sistemas de lagunas de estabilización*, (p.317), por S. Rolim, 2000, Colombia. Derechos reservados por Sergio Rolim Mendonça.

### **Factores que influyen en las reacciones biológicas (no controlables por el hombre) de las lagunas de estabilización**

#### ***Radiación solar***

En las lagunas facultativas es fundamental la fotosíntesis realizada por las algas para producir el oxígeno requerido por las bacterias aeróbicas. La radiación solar que se produce durante el día interviene en forma directa en la fotosíntesis. (Rolim, 2000, p.207).

#### ***Temperatura del agua en las lagunas***

Es un factor fundamental en el diseño de la laguna. Los procesos de reducción de la materia orgánica por acción bacteriana son dependientes de la temperatura. Un

aumento de 4 – 5 °C en la temperatura puede aumentar enormemente la eficiencia de la laguna. (Rolim, 2000, 203).

### ***Vientos***

Influyen en la aireación y homogenización de los líquidos de las lagunas, además de regular la temperatura. Los vientos además favorecen la mezcla y rotura de la estratificación térmica. (Rolim, 2000, 202).

### **Factores físicos, químicos y microbiológicos de las lagunas de estabilización**

Rolim (2000), describe brevemente estos factores, ya que actúan en las lagunas de estabilización de forma natural, siendo indispensable la presencia de estos.

#### ***Factores físicos***

*Área superficial.* Según Rolim 2000:

Se determina en función de la carga orgánica, por lo general expresada en términos de DBO<sub>5</sub>, aplicada día por día. En climas calientes, las cargas orgánicas que varían de 150 a 400 Kg DBO<sub>5</sub>/ha.día se han usado con éxito en las lagunas facultativas. Las cargas más bajas se aplican a temperaturas del aire ambiente alrededor de 20°C, y las más altas temperaturas, próximas a 30°C. Las cargas superficiales que exceden de 200 a 250 Kg DBO<sub>5</sub>/ha.día han sido objeto de problemas ocasionales de malos olores, en cuanto que las cargas que exceden los 400kg DBO<sub>5</sub>/ha día llevan probablemente a la anaerobiosis, es decir, ausencia de oxígeno disuelto y/o a una caída brusca en la eficiencia total del sistema (p. 210-213).

*Carga orgánica superficiales para lagunas facultativas (Kg DBO<sub>5</sub>/ha\*día).*

Recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS):

- Climas tropicales                      200 a 400
- 20 a 25 °C                                200 a 250
- 25 a 30°C                                250 a 400

#### *Altura de la lámina líquida.*

Después de la construcción de las lagunas, éstas deben llenarse con aguas residuales o agua del cuerpo receptor por medio de bombeo, a una profundidad mínima de un metro. Si la lámina de agua bajara hasta los 60 cm, probablemente habrá un desarrollo de plantas acuáticas y gran parte de la superficie de la laguna estará cubierta de vegetación que subirá por encima de la superficie del agua. La penetración de la luz se dificultará y la eficiencia de la laguna podrá caer a un nivel inaceptable (p.215).

#### *Cortocircuitos.*

La causa de varios problemas en las lagunas son los cortocircuitos, como por ejemplo la aparición de zonas muertas o estancadas que reducen el volumen efectivo y el área superficial de la laguna, con la posibilidad de problemas de olor en las áreas sobrecargadas. La reducción de la eficiencia de la laguna es una consecuencia inevitable. (Rolim, 2000, p.216).

#### *Mezcla.*

Es importante que la distribución de las aguas residuales en una laguna sea de manera uniforme, para que pueda utilizarse todo el volumen lagunar proyectado para el tratamiento y así evitar posibles cortocircuitos donde las aguas queden inquietas. (Rolim, 2000, 216).

### ***Factores químicos***

#### *Valor del pH.*

Tanto las lagunas anaerobias como facultativas son operadas en forma eficiente con valores del pH ligeramente alcalino. Los desechos líquidos industriales con valores extremos del pH tendrán que pasar por tanques de neutralización para corregir el pH, antes de entrar a la laguna. (p.227).

*Materiales tóxicos.* Los materiales tóxicos, como metales pesados, pesticidas, desinfectantes, desechos líquidos y residuos industriales deben eliminarse del afluente de las lagunas. (Rolim, 2000, p.228).

*Oxígeno disuelto.* El oxígeno disuelto, (OD), es el mejor indicador de una operación satisfactoria en una laguna facultativa o de maduración. La principal fuente de OD, utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica y en sus funciones respiratorias proviene del oxígeno producido por la acción fotosintética de las algas. (p. 229).

### ***Factores microbiológicos***

*Nutrientes.* Las bacterias y algas necesitan una fuente de nutrientes para crecer y multiplicarse, varios elementos son necesarios como el carbono, nitrógeno y fósforo que se requieren en mayor cantidad. (Rolim, 2000, p.229).

Tabla 10.

*Principales parámetros físicos, químicos y microbiológicos que deben ser verificados en un sistema de lagunas de estabilización.*

| PARÁMETRO   | UNIDAD | AFLUENTE | EFLUENTE | FRECUENCIA |
|-------------|--------|----------|----------|------------|
| Temperatura | °C     | X        | X        | D          |
| DBO         | mg/l   | X        | X        | S          |
| DQO         | mg/l   | X        | X        | S          |
| OD          | mg/l   | X        | X        | D          |

|                      |          |   |   |   |
|----------------------|----------|---|---|---|
| pH                   | mg/l     | X | X | D |
| Sólidos suspendidos  | mg/l     | X | X | S |
| Sólidos sedimentados | mg/l     | X | X | S |
| Sólidos totales      | mg/l     | X | X | Q |
| Sólidos fijos        | mg/l     | X | X | Q |
| Sólidos volátiles    | mg/l     | X | X | S |
| Nitrógeno total      | mg/l     | X | X | O |
| Fósforo total        | mg/l     | X | X | O |
| Coliformes fecales   | CF/100ml | X | X | O |
| Huevos de nemátodos  |          |   |   |   |
| Intestinales         | Unidad   | X | X | O |

D= Diario; S= Semanal; Q= Quincenal; O= Ocasional.

*Nota:* Adaptado de WHO/EMRO (1987). Tomado de *Sistemas de lagunas de estabilización*, (p. Rolim, S. (2000).

### **Condiciones que influyen en el funcionamiento de las lagunas de estabilización**

- La cinética de las reacciones, basado en un modelo cinético de primer orden con respecto al sustrato o el decaimiento bacteriano.
- El tipo de flujo hidráulico: modelo de flujo pistón con dispersión axial.
- La temperatura en las lagunas, que determina la velocidad de las reacciones. En las lagunas de estabilización y en las lagunas aireadas, como consecuencias de que son procesos donde la concentración de la biomasa es relativamente pequeña, el efecto de la temperatura sobre el proceso biológico es muy acentuado. Por ello, para el dimensionamiento de estos sistemas resulta de gran importancia contar con herramientas que permitan estimar, con la mayor exactitud posible, la temperatura esperable del líquido en el interior de la laguna. Una de las técnicas es el Balance calórico por conducción.
- La estratificación térmica, que afecta el buen funcionamiento, disminuyendo el volumen útil, provocando la sedimentación y posterior descomposición de las algas no móviles.

- La intensidad de la radiación solar, que ejerce una acción directa sobre la fotosíntesis (producción de oxígeno) y el decaimiento bacteriano.

### **Métodos de diseño de las lagunas de estabilización**

Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 1999:

#### ***Modelos para lagunas facultativas***

*Modelos basados en la constante de reacción y su dependencia en la temperatura. Modelo de Hermann y Gloyna.* El primer modelo para describir el comportamiento de lagunas facultativas en base a teoría cinética fue presentado por Hermann y Gloyna.

Esta parte de la relación de Arrhenius que puede expresarse en la siguiente forma:

$$— (15)$$

En donde  $t$  es el tiempo de reacción requerido a la temperatura  $T$  y  $T_0$  es el tiempo de reacción original evaluado a la temperatura  $T_0$ . La relación anterior puede aplicarse para lagunas facultativas puesto que hay evidencia que reacciones tanto aeróbicas como anaeróbicas siguen la misma cinética.

La evaluación de constantes de la ecuación (15) fue afectada inicialmente a escala de laboratorio con cuatro lagunas, por Hermann y Gloyna, quienes determinaron que se necesita un periodo de detención  $T_0 = 3.5$  días para efectuar una reducción del 85-95% con una temperatura de  $35^\circ\text{C}$ . Para estas condiciones, se

encontró que la constante  $C = 0.0693$  y  $\square = 1.072$ . Para corregir desviaciones del promedio de DBO asumido para aguas residuales domésticas, se introduce la relación  $S_o/200$  en donde  $S_o$  es la DBO del desecho en mg/L. Con estas sustituciones, e introduciendo el concepto de

$$V = Q \times t \quad (16)$$

(No se consideran pérdidas por infiltración y evaporación). En donde  $V$  es el volumen ( $m^3$ ),  $Q$  es el caudal ( $m^3/\text{día}$ ) y  $t$  el tiempo de retención en días, se obtiene:

$$V = 3.5 Q \times 1.072^{(35-T)} \quad (17)$$

Estudios posteriores determinaron un valor de  $\square = 1.085$ , que ha sido aceptado y en base a consideraciones prácticas, como la demanda de DBO ejercida por el lado de fondo y posibles deficiencias en operación, se adoptaron valores para  $T_o = 7$  días y  $T_o = 35^\circ\text{C}$ . Con estas sustituciones se obtiene:

$$V = 0.035 \cdot Q \cdot S_o \cdot 1.085^{(35-T)} \quad (18)$$

Usualmente se desconocen valores de concentración promedio del desecho.

En cambio, el ingeniero puede evaluar con un buen grado la exactitud de carga de DBO  $C$  ( $\text{Kg}/\text{día}$ ) en base a la contribución por cápita que puede tomarse como  $54 \text{ g DBO}/\text{hab}/\text{día}$ . Adicionalmente, el cálculo de la carga orgánica superficial  $CS$  ( $\text{kg DBO}/\text{ha}/\text{día}$ ) parece ser de mayor importancia en los últimos años puesto que el ingeniero usualmente tiene que efectuar consideraciones sobre profundidad adicional para almacenamiento de lodos. La carga orgánica superficial es:

$$CS = Q \cdot S_o \times 0.001 \quad (19)$$

Sustituyendo el valor de Q de la ecuación (18) en la ecuación (17), e introduciendo  $C = CS.A$  y  $V = d.A$  ( $d$  = profundidad en m y  $A$  en hectáreas) se obtiene la siguiente relación:

$$CS = 285.7.d. \quad (20)$$

Los resultados de aplicación de esta relación para diferentes profundidades están indicados gráficamente en la figura 12. De un análisis de este grafico se puede deducir el beneficio que trae el incrementar la profundidad de lagunas facultativas para obtener menores áreas con mayores cargas orgánicas superficiales.

La ecuación (20) ha sido afectada por dos factores  $f$  y  $f'$  que son correcciones por toxicidad a las algas y por sulfuros respectivamente, quedando:

$$CS = 285.7.d. \quad f f' \quad (21)$$

El factor  $f$  está descrito por la ecuación:

$$F = (e)^{K \frac{C_0}{K_0 + C_0}} \quad (22)$$

En donde  $K$  es una constante de inhibición para un desecho con contenido de materia toxica de concentración  $C_0$ ,  $K_0$  es la constante de biodegradación del compuesto toxico y  $t_0$  es el tiempo de reacción para la constante  $k_0$  y temperatura  $T_0$ .

RELACION ENTRE CARGA SUPERFICIAL  
TEMPERATURA Y PROFUNDIDAD PARA  
LAGUNAS DE ESTABILIZACION

$$CS = 285.7 \times d \times \theta^{T-35}$$

$$CS = \frac{Kg \text{ DBO}}{Ha \times DIA}, d = m, \theta = 1.085$$

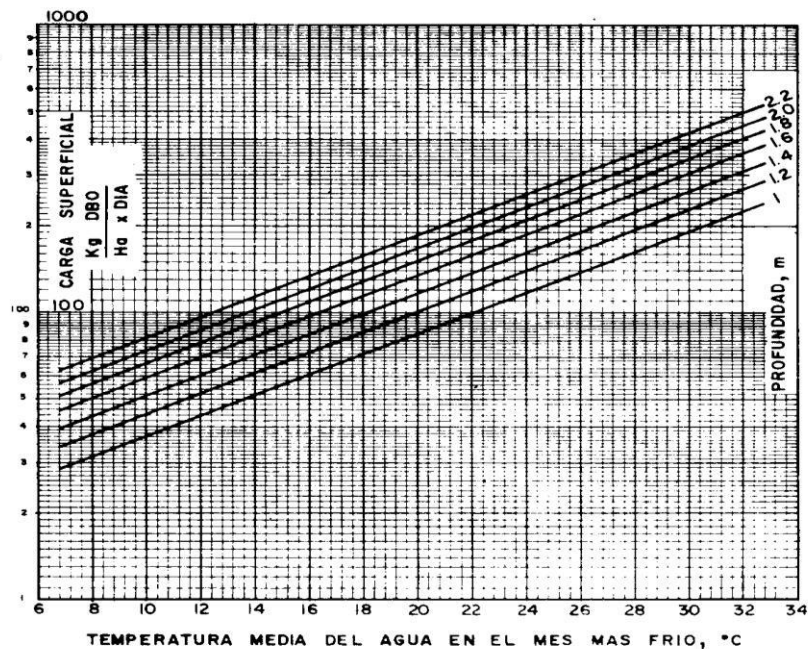


Figura 12. Relación entre carga superficial Temperatura y profundidad para lagunas de estabilización. Tomado de CEPIS, (p.28), por F. Yáñez, Lima-Perú. Derechos reservados por Fabián Yáñez. Norma de saneamiento S090 - Reglamento Nacional de Construcciones.

*Modelo de comportamiento basado en cinética de primer orden.* (Modelo de Marais Y Shaw). Este modelo de comportamiento fue desarrollado en 1961 por Marais Y Shaw.

Está basado en un balance de masa (en términos de DBO) alrededor de la laguna incorporando la cinética de primer orden de remoción de DBO. Este modelo fue expresado inicialmente con la siguiente ecuación:

$$S = \text{—} \quad (23)$$

En donde  $S$  y  $S_0$  son las concentraciones de DBO del efluente y afluente respectivamente,  $K$  es la constante de degradación de primer orden (1/días) y  $t$  es el período de retención (días). Posteriormente, se introdujo la influencia de la temperatura.

$$S = S_0 e^{-Kt} \quad (24)$$

La ecuación (23) quedo reformada:

$$S = \frac{S_0}{1 + Kt} \quad (25)$$

O expresada de otra forma:

$$S = \frac{S_0}{1 + Kt} \quad (26)$$

En donde  $E$  es la eficiencia de remoción de DBO expresada en porcentaje y  $K_T$  Y  $K_T$  son las constantes de remoción de primer orden base  $e$  y base 10 respectivamente (1/días).

La constante de primer orden  $K_T$  ha sido evaluada como 0.17 para una temperatura promedio de 20°C y  $K_T = 1.2$  para  $T_0 = 35^\circ\text{C}$ , lo cual sustituido en la ecuación (25) para una eficiencia de remoción del 90% da un valor de  $t = 7.5$  días. Esto concuerda con lo adoptado por Gloyna en la ecuación (18).

Con este valor de  $K$  y expresando las ecuaciones (24) y (25) para incorporar la carga orgánica superficial  $CS$  (Kg DBO/Ha/día), en la misma forma que para el modelo anteriormente discutido (Hermann y Gloyna) se arriba a la siguiente expresión:

$$[\text{---}] \quad (27)$$

En donde todos los valores están definidos con anterioridad. Una comparación de las ecuaciones (18) y (27) para una eficiencia de remoción del 90% indica que la ecuación (14) se convierte en:

$$(28)$$

Lo cual se acerca con un buen margen de aproximación a la ecuación (18) del modelo anterior. Cabe indicarse que el modelo de Marais incorpora también el modelo de Hermann Y Gloyna.

En base a datos de capos, Marais y Shaw determinaron la máxima concentración  $S_p$  (mg/L) aplicable a una laguna para mantener condiciones de no anaeroicidad con la siguiente expresión:

$$\text{---} \quad (29)$$

Más tarde el valor del numerador fue reducido quedando:

$$\text{---} \quad (29)$$

En donde  $S_p$  ya definida está dada en mg/L y  $d$  es la profundidad de la laguna en m. Esta ecuación también pone de manifiesto el beneficio que puede traer el dar una menor profundidad a una laguna para asimilar cargas superficiales mayores. Esto puede ilustrarse igualando la siguiente ecuación a (30) y despejando  $C_{Sp}$ .

$$\text{---} \quad (30)$$

$$\text{---} \quad (31)$$

En donde CSP es la carga orgánica superficial posible (kg DBO/Ha/día), Q es el caudal ( $\text{m}^3/\text{día}$ ), A el área (Ha) y d la profundidad (m). De un análisis de la ecuación anterior para un caso específico con un caudal y área determinados, se observa que se obtendrían cargas superficiales mayores para menores profundidades, lo cual está en desacuerdo con lo expresado en las ecuaciones (20) y (21). Por estas razones, el autor considera que el uso de las ecuaciones (28) a (31) debe ser limitado. La discusión que precede ha sido incluida por este motivo.

*Modelo basado en cinética de primer orden incorporando la influencia del lodo anaeróbico.* (Modelo de Marais). Este modelo desarrollado por Marais, incorpora la influencia del estrato de lodos en el modelo anteriormente discutido. Las asunciones afectadas para desarrollo de este modelo son las siguientes:

- Se considera que la degradación anaeróbica de lodo sigue una reacción de primer orden.
- Se considera para las DBO que corresponden a valores últimos de la etapa carbón esto, aunque no es esencial, se hace por conveniencia de cálculo.
- Se asume que la fracción fp de la DBO última del afluente Sui se dispersa a observaciones que indican que la mezcla está establecida normalmente aun en lagunas de periodos de retención de diez días.
- Una fracción Cp de la DBO que resulta de la fermentación anaeróbica regresa al líquido mientras que la fracción restante, Cg, abandona el sistema como gas.

De un balance de DBO en la laguna en condiciones de equilibrio se obtiene la siguiente ecuación:

$$S_u = \frac{f_p + C_p f_s}{1 + C_p} \quad (32)$$

Existe muy poca información sobre la magnitud de las constantes encerradas entre paréntesis. De datos de sedimentadores primarios se ha podido calcular un valor aproximado entre 0.4 y 0.6. Datos aproximados para  $C_p$  y  $C_g$  parecen ser 0.4 Y 0.6 respectivamente.

La dependencia de temperatura de la constante de degradación del estrato bental está dada por:

$$K_s = 0.002 \times 1.35^{T-20} \quad (33)$$

Este modelo ha sido sometido a análisis en una computadora para simular variaciones de carga y temperatura estacional.

*Modelo para condiciones de flujo intermedio.* (Modelo de Thirumurthi. Thirumurthi). Ha desarrollado un modelo para condiciones de flujo intermedias entre flujo a pistón y a mezcla completa, presentando la siguiente formula simplificada:

$$\frac{S_e}{S_i} = \frac{1}{1 + K_d \theta} \quad (34)$$

En donde  $S_e$  y  $S_i$  son la DBO del afluente y efluente de la laguna respectivamente (mg/L).

El valor de la constante  $a$  está dado por:

$$\frac{C}{C_0} = e^{-k t - \frac{D}{U L} k^2 t^2} \quad (35)$$

En donde  $k$  es la constante de reacción biológica (1/días) y  $d$  es la constante de difusividad o número de dispersión que está dado por:

$$d = \frac{D}{U L} \quad (36)$$

En donde  $D$  es el coeficiente de dispersión axial ( $m^2$ /hora),  $U$  es la velocidad del fluido (m/hora) y  $L$  es la longitud característica de la trayectoria de desplazamiento de una partícula en el estanque (m).

Aunque las determinaciones del coeficiente  $d$  no son completamente conclusivas, se ha indicado que rara vez excederá del valor de **1** debido a las reducidas cargas hidráulicas y altos porcentajes de remoción deseados. Una discusión más profunda de la aplicación de este modelo no es posible debido a la falta de valores experimentales.

### ***Modelo para lagunas de maduración***

El mismo tipo de modelo desarrollado para lagunas facultativas basado en reacción de primer orden puede aplicarse a lagunas de maduración para describir la variación de concentración de bacterias fecales, (36). Bajo la misma suposición de reacción monomolecular, la concentración de organismos fecales está dada por la expresión:

$$C = C_0 e^{-k t - \frac{D}{U L} k^2 t^2} \quad (37)$$

En donde  $N$  y  $N_0$  son las concentraciones de bacterias coliformes en el afluentes y efluente respectivamente. Dadas en número más probables (NMP),  $K$  es la constante de reacción monomolecular (1/días) y  $t$  es el tiempo de retención (días).

En cuanto a los valores de  $K$ , no se han determinado en forma sistemática, pero evaluaciones empíricas indican que es recomendable usar un valor de  $k = 2$  para propósitos de diseño.

### ***Modelo para lagunas aeróbicas***

Modelo de Oswald y Gotaas. Este tipo de laguna son de poca profundidad y están diseñadas con el propósito de obtener una máxima producción de algas. Se basa en las siguientes consideraciones:

Un balance de energía en la laguna que se establece que la energía no absorbida (output) es igual a la energía solar incidente (input) menos la energía absorbida por las algas.

La energía solar incidente (ES) está dada por:

$$ES = S \cdot A \cdot t \quad (38)$$

En donde ES es la energía solar (calorías) A es el área ( $\text{cm}^2$ ) y S es la insolación media visible ( $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$ ). Trabajando con un volumen unitario de un litro, el área ocupada es:

$$A = \text{—} \quad (39)$$

En donde  $d$  es la profundidad (cm) se puede sustituir:

$$ES = 1000 - t \quad (40)$$

La energía solar absorbida ( $H$ ) para estabilización de la materia orgánica y asociada con la liberación de oxígeno es igual a la eficiencia de absorción ( $f$ ) de energía por la energía incidente  $y$ , al mismo tiempo, igual al calor de combustión de las algas ( $h$ ) por la concentración de algas ( $c$ ) y por el volumen ( $v$ ) de laguna. Esta igualdad quedaría:

$$H = f.ES = h.c.v \quad (41)$$

En donde los símbolos indicados tienen las siguientes dimensiones:

$H$  (calorías)

$f$  (decimal)

$h$  (caloría/mg algas)

$c$  (mg/L),  $v$  (1 Litro).

La oxigenación producida por las algas ( $W_o$ ) es igual al peso de algas nuevas ( $W_a$ ) por un factor de oxigenación ( $p$ ). Al mismo tiempo, es posible sustituir ( $W_o$ ) por la demanda bioquímica de oxígeno ( $La$ ) y ( $W_a$ ) por ( $c$ ), quedando:

$$W_o = p. W_a; La = p.c \quad (42)$$

Experimentalmente se ha encontrado que el porcentaje más alto de la DBO es removido cuando el factor de oxigenación pes alrededor de 1.6. El balance de energía se efectúa

$$1000. \frac{CS}{d} \frac{1}{t} \quad (43)$$

La relación  $d/t$  (cm/día) es la carga hidráulica. Introduciendo el concepto de carga superficial orgánica CS (kg DBO/Ha/día) se obtiene de la ecuación (42) la siguiente expresión:

$$CS = 100. \frac{d}{t} \quad (44)$$

Con la fórmula (45) se puede dimensionar fácilmente una laguna en cuanto a área. Los valores de la constante F varían entre 0.2 Y 0.9 con los valores medios entre 0.4 y 0.6. El valor de  $p$  ha sido establecido como 1.6 y el valor de  $h$  (cal/g).

El termino  $S$  o la insolación promedio ( $\text{cal/cm}^2/\text{día} = \text{Langley}/\text{día}$ ) es evaluada de acuerdo con datos de insolación máxima y mínima para los meses del año y calculada con la siguiente formula:

$$S = S_{\min} + r (S_{\max} - S_{\min}) \quad (45)$$

En donde  $r$  es el número de horas totales de sol dividido por el número de horas posibles de sol para la localidad.

Finalmente, la profundidad de penetración de luz  $d$  (cm) o del proceso fotosintético (o de la laguna) se calcula mediante la expresión de la ley de Beerlambert.

---

(46)

En donde  $I_i$  es la intensidad de luz incidente =  $I_0/I$ ,  $K$  es el coeficiente específico de absorción de la luz, que varía entre  $1.2 \times 10^{-3}$  y  $1.5 \times 10^{-3}$  (L/mg/L/cm) y  $c$  es la concentración de algas (mg/L), que es el factor más importante en la penetración de luz.

## **Humedales**

Bravo y Windevoixhel (1997), como se citó en Roldán y Ramírez, (2008):

Los humedales son ecosistemas con dependencia de regímenes acuáticos, naturales o artificiales, permanentes o temporales, lenticos o lóticos, dulces, salobres o salados, incluyendo las extensiones marinas hasta el límite posterior de fanerógamas marinas o arrecifes de coral o, en su ausencia, hasta seis metros de profundidad de marea baja. (p. 40-41).

### ***Componentes de un humedal***

*El agua.* Se sabe que el agua es un componente fundamental para todo humedal pues Lara, (1999), explica un poco de lo que consiste en el:

Es probable que se formen humedales en donde se acumule una pequeña capa de agua sobre la superficie del terreno y donde exista una capa del subsuelo relativamente impermeable que prevenga la filtración del agua en el subsuelo. Estas condiciones pueden crearse para construir un humedal casi en cualquier parte, modificando la superficie del terreno para que pueda recolectar agua y sellando la cubeta para retener el agua (p. 6-7).

La hidrología en el diseño del humedal es importante porque a menudo es el factor primario en el éxito o fracaso del humedal. Mientras la hidrología de un humedal construido no es muy diferente que la de otras aguas superficiales y cercanas a su superficie.

*Substratos, sedimentos y restos de vegetación.*

Es importante resaltar la variedad de substratos que se encuentran en los humedales, como suelo, arena, grava, roca y materiales orgánicos, en los cuales se proporciona el almacenamiento para muchos contaminantes, aumentando la cantidad de materia orgánica, producto de la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas. (Lara, 1999, p.7).

*La Vegetación.* Según Lara, (1999):

La vegetación existente en un humedal presenta características importantes, como lo es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz de manera más profunda de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión. Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento de agua residual y escurrentía de varias maneras. (p.8).

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escurrentía de varias maneras:

- Estabilizan el substrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, nutrientes, y elementos de traza y los incorporan a los tejidos de la planta.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.
- Cuando se mueren y se deterioran dan lugar a restos de vegetación.

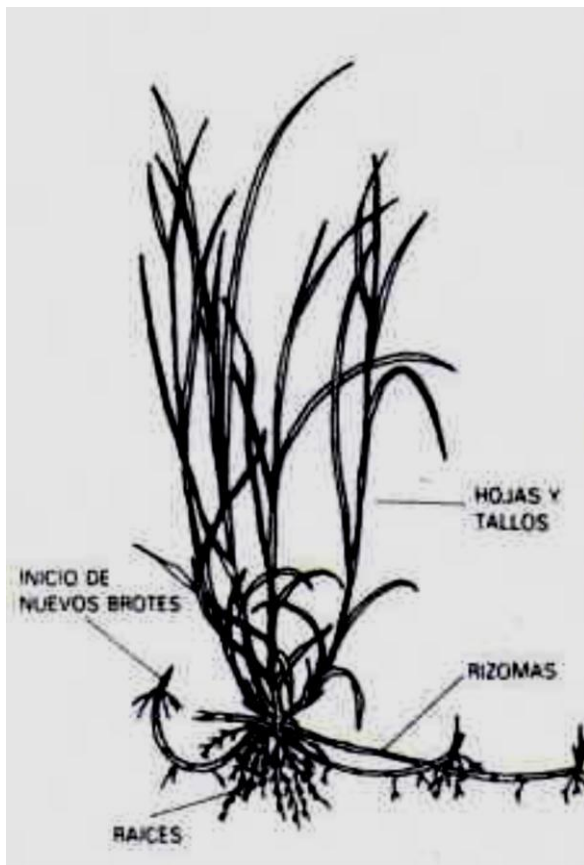


Figura 13. Esquema típico de planta emergente. Tomado de: *Depuración de aguas residuales municipales con humedales superficiales*, (p. 9), 1999, España. Derechos reservados por Jaime Lara.

Las plantas emergentes de mayor frecuencia en humedales superficiales para aguas residuales son las espadañas, carrizos, juncos y juncos de laguna. Los juncos de laguna y espadañas son una combinación de estas dos especies. Existen algunos sistemas con carrizos, siendo esta especie la más conveniente.

La mayoría de los humedales se plantan con matas o esquejes de rizomas extraídos de humedales naturales. La propagación de semillas y el trasplante de plantas ya existentes son cada vez más populares.

Tabla 11.

*Especies emergentes más utilizadas en depuración de aguas residuales.*

| Familia    | Nombre latino                                         | Nombres comunes más usuales   | Temperatura, °C |                             | Máxima salinidad tolerable ppt | Rango efectivo de pH |
|------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------|
|            |                                                       |                               | Deseable        | Germinación de las semillas |                                |                      |
| Ciperáceas | <i>Carex sp.</i>                                      | -                             | 14-32           |                             |                                | 5-7.5                |
|            | <i>Eleocharis sp.</i>                                 | -                             |                 |                             |                                |                      |
|            | <i>Scirpus lacustris L. (*)</i>                       | Junco de Laguna               | 18-27           |                             | 20                             | 4-9                  |
| Gramíneas  | <i>Glyceria fluitans (L.) R. Br.</i>                  | Hierba del Maná               |                 |                             |                                |                      |
|            | <i>Phragmites australis (Cav) Trin Ex Steudel (*)</i> | Carrizo                       | 12-23           | 10-30                       | 45                             | 2-8                  |
| Iridáceas  | <i>Iris pseudacorus L.</i>                            | Lirio amarillo, espadaña Fina |                 |                             |                                |                      |
| Juncáceas  | <i>Juncus sp.</i>                                     | Juncos                        | 16-26           |                             | 20                             | 5-7,5                |
| Tifáceas   | <i>Thypha sp (*)</i>                                  | Eneas, aneas, Espadañas.      | 10-30           | 12-24                       | 30                             | 4-10                 |

*Nota:* Tomado de. *Depuración de aguas residuales municipales con humedales superficiales*, (p.15), 1999, España. Derechos reservados por Jaime Lara.

*Los Microorganismos.* Lara, (1999), “Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran

parte del carbono orgánico y muchos nutrientes”. (p.15). Añadiendo Lara a su descripción:

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía. Cuando las condiciones medioambientales no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan y pueden permanecer inactivos durante años. (p.16).

*Animales.* Los humedales construidos proveen un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados. Estas especies de animales contribuyen al proceso de tratamiento fragmentando el detritus al consumir materia orgánica. Aunque los invertebrados son los animales más importantes en cuanto a la mejora de la calidad del agua, los humedales atraen a una gran variedad de anfibios, tortugas y mamíferos. (Lara, 1999, p. 17).

*Realce de la estética y paisaje.* Según Lara, (1999):

Los humedales son principalmente sistemas de tratamiento, proporcionan beneficios intangibles aumentando la estética del sitio y reforzando el paisaje. Visualmente, los humedales son ambientes extraordinariamente ricos. Introduciendo el elemento el agua al paisaje, el humedal construido, tanto como el natural, agrega diversidad al paisaje. Pueden construirse humedales artificiales siguiendo las formas que tienen los contornos naturales del sitio, hasta el punto de que algunos humedales para el tratamiento de agua son indistinguibles a simple vista, de los humedales naturales. (p.17).

*Funciones básicas de los humedales*

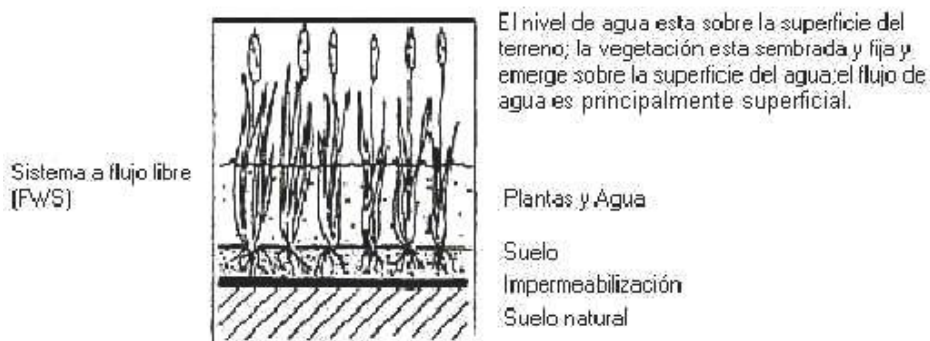
Mejora la calidad de agua de fuentes no puntuales de concentración provenientes de tierras agrícolas y asentamientos urbanos. Estudios resaltan que son sumideros estacionales de nutrientes como nitrógenos y fosforo, especialmente cuando no son de excesiva carga. (Roldán y Ramírez, 2008, p 44). Además, cumplen funciones importantes como fijar físicamente los contaminantes en la superficie del

suelo y la materia orgánica, utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos y lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento.

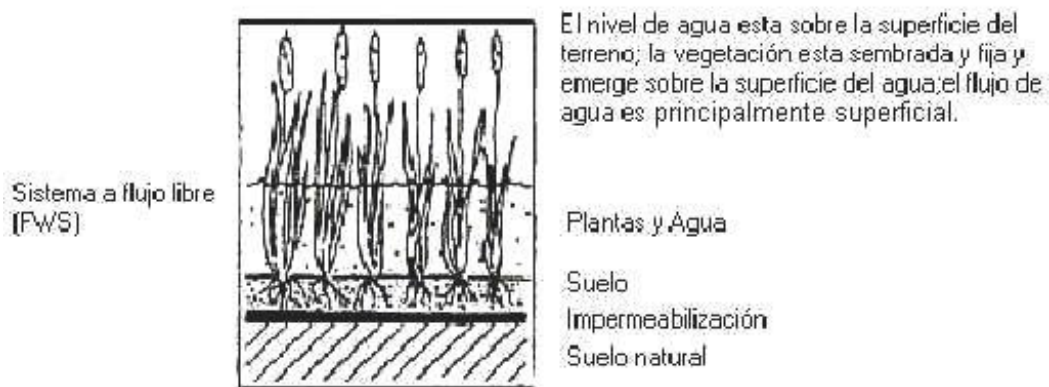
### *Tipos de sistemas de humedales artificiales*

*Sistemas de Flujo Libre (FWS).* Se componen de bases o canales paralelos, sobre un suelo impermeable, vegetación emergente y niveles de agua poco profundos (0,6 m máximo). El tratamiento se produce durante el flujo del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. Además, suponen una zona de creación de hábitats de fauna y flora. (Lara, 1999, p. 4).

*Sistemas de Flujo Subsuperficial (SFS).* Consisten en canales o zanjas rellenas de material granular, generalmente grava, donde el nivel de agua se mantiene por debajo de la superficie granular. El sistema, al ser cerrado, tiene altas tasas de reacción (creación de microorganismos) y por lo tanto no necesitan tanta superficie como los sistemas de flujo libre. Así mismo, al ser un flujo subsuperficial se evita la presencia de mosquitos y se gana en protección térmica. (Lara, 1999, p. 5).



**Figura 14.** Tipos de humedales construidos, típicamente usados para tratamiento de aguas residuales. Tomado de: *Depuración de aguas residuales municipales con humedales superficiales*, (p.3), 1999, España. Derechos reservados por Jaime Lara.



*Figura 15.* Tipos de humedales construidos, típicamente usados para tratamiento de aguas residuales. Tomado de: *Depuración de aguas residuales municipales con humedales superficiales*, (p.3), 1999, España. Derechos reservados por Jaime Lara.

### ***Consideraciones ambientales y de salud pública de los Humedales***

Lara, (1999) describe las consideraciones de la siguiente manera:

#### ***Nitrógeno.***

El nitrógeno está limitado en el agua de boca para proteger la salud de los niños y puede limitarse en aguas superficiales para prevenir eutrofización. Puede eliminarse nitrógeno en estos sistemas mediante procesos de nitrificación / desnitrificación y posterior pérdida de gas a la atmósfera. La remoción de nitrógeno en sistemas de humedales artificiales está entre un 25 y 85%". (p.21).

**Fósforo.** Lara, (1999) "La remoción de fósforo no es muy eficaz debido al contacto limitado entre el agua residual y el terreno. Los mecanismos principales de remoción de fósforo son la captación por parte de las plantas y la retención en el terreno". (p. 21).

#### ***Patógenos***

En lo referente a las aguas superficiales que recibirán la descarga del efluente del humedal artificial, los patógenos de interés en los sistemas de tratamiento acuáticos son bacterias y virus. Generalmente no es una preocupación la contaminación del agua subterránea, ni la transmisión

a otros lugares vía aerosoles. El agua subterránea no se contaminará en sistemas que estén sellados por una arcilla impermeable o por una barrera de material sintético”. (p. 21)

#### *Metales.*

Los metales pesados son contaminantes medioambientales comunes que se producen como resultado de actividades industriales, comerciales y domésticas, y aunque las normas obligan a las industrias que vierten estos productos a alcanzar niveles de pretratamiento altos, la presencia o no en el agua residual depende de la eficiencia del sistema de control de los vertidos industriales. (p. 24).

#### *Trazas orgánicas.*

Las aguas residuales municipales e industriales contienen concentraciones variables de compuestos orgánicos sintéticos. Durante 1.960-1.970, los investigadores medioambientales se dieron cuenta de la tendencia de algunos contaminantes orgánicos a resistirse a ser removidos en el tratamiento convencional del agua residual y persistir en el ambiente por períodos muy largos. Una observación más perturbadora era que esos compuestos tóxicos persistentes fueron encontrados acumulándose en las cadenas alimenticias, debido a la tendencia de los compuestos de ser liposolubles. Un compuesto puede desaparecer de la solución acuosa a través de varios mecanismos. Entre estos están: las alternativas biológicas, químicas, fotoquímicas, y los procesos fisicoquímicos como absorción, sedimentación y evaporación. La degradación biológica de compuestos orgánicos fácilmente degradables se considera el más importante de éstos”. (p. 26)

#### ***Consideraciones de construcción del humedal***

Para la construcción de humedales, los aspectos más importantes son la impermeabilización de la capa subsuperficial de terreno, la selección y la colocación del medio granular para el caso de los sistemas SFS, el establecimiento de la vegetación, y por último las estructuras de entrada de salida.

*Impermeabilización.* En los humedales, generalmente se coloca una barrera impermeable para impedir que se contamine con aguas residuales el subsuelo o el agua subterránea. Estos materiales comúnmente están formados por una capa de arcilla o por materiales que se encuentran in situ y que pueden ser compactados hasta un estado cercano al impermeable. También se aplican tratamientos químicos, capa de bentonita o de asfalto o algún tipo de membrana geosintética. (Lara, 1999, p. 27).

Las membranas impermeabilizantes que se usan para humedales son las mismas que generalmente se utilizan para los estanques. Se pueden usar los suelos locales para sellar los humedales si disponen altos contenidos arcillosos, suficiente para conseguir la permeabilidad necesaria. El grosor de la membrana depende de la impermeabilidad del suelo. Para lograr instalar la membrana con éxito, es crucial preparar el sustrato evitando que este contenga materiales que puedan perforarla.

*Vegetación.* Es importante para ambos tipos de humedales la siembra de plantas emergentes, esta se puede realizar a partir de semillas, pero este método requiere bastante tiempo y un control estricto del agua. También presenta el problema del posible consumo de la semilla por animales, es recomendable plantar mediante el trasplante de rizomas al lecho. (Lara, 1999, p. 29).

*Estructuras de entrada y salida.* Para alcanzar los rendimientos esperados es necesario que ambos sistemas cumplan condiciones de flujo uniforme, con sistemas de pequeño tamaño, con tuberías de recolección perforadas que se extiendan a lo ancho de toda la celda, tanto para la entrada como para la salida. (Lara, 1999, p. 30).

Un colector de entrada permite el fácil acceso para mantenimiento y control, este consiste en una tubería plástica de 100 a 200 mm de diámetro, con una “t” ubicada sobre la línea, aproximadamente cada 3 m, donde el operario puede movilizar la “t” para revisión e igualación de caudales. (Lara, 1999, p. 30).

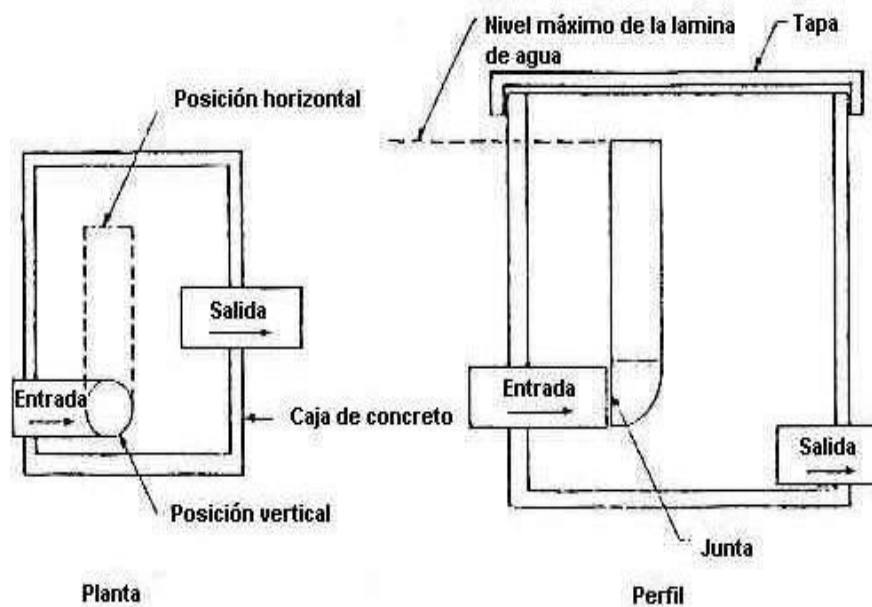


Figura 16. Sistema típico de entrada y de salida para un humedal construido. Tomado de: *Depuración de aguas residuales municipales con humedales superficiales*. (p.31). España. Derechos reservados por Jaime Lara.

### ***Modelo General de Diseño de humedales***

Según, Lara, (1999), " Los sistemas de humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos y su rendimiento puede ser estimado mediante una cinética de primer orden de flujo a pistón para la remoción de DBO y nitrógeno". (p. 45).

La siguiente ecuación básica de los reactores de flujo a pistón:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp(-Kt) \quad (47)$$

Donde:

Ce: Concentración del contaminante en el efluente, mg/l

Co: Concentración del contaminante en el afluente, mg/l

Kt: Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura,  $d^{-1}$

t: Tiempo de retención hidráulica, d

Este tiempo de retención hidráulica en el humedal puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$\text{---} \quad (48)$$

Donde:

L: Largo de la celda del humedal, m

W: Ancho de la celda del humedal, m

Y: Profundidad de la celda del humedal, m

n: porosidad, o espacio disponible para el flujo del agua a través del humedal. La vegetación y los residuos ocupan algún espacio en los humedales tipo FWS, y el medio, raíces y otros sólidos hacen lo mismo en los del tipo SFS. La porosidad es un porcentaje expresado como decimal.

Q: Caudal medio a través del humedal, m<sup>3</sup>/d

$$\text{---} \quad (49)$$

Es entonces posible determinar el área superficial del humedal combinando las ecuaciones (49) y (50):

$$\text{---} \quad (50)$$

Donde:

A<sub>s</sub>: Área superficial del humedal, m<sup>2</sup>.

### ***Diseño Hidráulico***

El diseño hidráulico de un humedal es crítico para el éxito de su rendimiento

Según Lara, (1999):

El diseño hidráulico de un humedal artificial es crítico para el éxito de su rendimiento. Todos los modelos de diseño que se usan actualmente asumen condiciones uniformes de flujo a pistón y que además no existen restricciones para el contacto entre los constituyentes del agua residual y los organismos responsables del tratamiento. (p. 49).

Es importante conservar las relaciones largo-ancho, ya que tiene una gran influencia en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo del sistema. Teóricamente las grandes relaciones largo-ancho 10:1 aseguran un flujo a pistón, pero tienen problemas de desborde en la parte más elevada, ya que se incrementa la resistencia al flujo, debido a la acumulación de residuos de vegetación, principalmente en sistemas de flujo libre, por esto, las relaciones 1:1 hasta 4:1 son aceptables aún. (Lara, 1999, p. 49-50).

*Humedales del flujo libre.* Se definen como humedales que están expuestos a la atmosfera, donde circulan el agua por encima del sustrato continuamente. El flujo de agua en un humedal de flujo libre es descrito por la ecuación de Manning, que define el flujo en canales abiertos.

$$v = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (51)$$

Donde:

v: Velocidad de flujo, m/s

n: Coeficiente de Manning, s/m<sup>1/3</sup>

y: Profundidad del agua en el humedal, m

s: Gradiente hidráulico, o pendiente de la superficie del agua, m/m

El número de Manning (n), depende de la profundidad del agua debido a la resistencia impuesta por la vegetación emergente. También depende de la densidad de la vegetación y de la capa de residuos que varía según la localización o estación. (Lara, 1999, p. 50).

La relación según Lara, (1999), se define por:

$$\text{---} \quad (52)$$

Donde:

a: Factor de resistencia, s.m<sup>1/6</sup>

: 0,4 s.m<sup>1/6</sup> para vegetación moderadamente densa con profundidades de agua residual de y=0,3 m.

: 6,4 s.m<sup>1/6</sup> para vegetación muy densa y capa de residuos, en humedales con y ≤ 0,3 m.

En muchas situaciones, con vegetación emergente típica, es aceptable asumir para propósitos de diseño valores de “a” entre 1 y 4. Sustituyendo la ecuación (52) en la ecuación (51) tenemos:

$$\text{---} \quad (53)$$

Sustituyendo y reorganizando términos es posible llegar a una ecuación para determinar la longitud máxima de una celda de humedal.

— y —

Donde:

Q: Caudal, m<sup>3</sup>/d.

W: Ancho de la celda de humedal, m.

A<sub>s</sub>: Área superficial de la celda de humedal,

m<sup>2</sup>. L: Longitud de la celda de humedal, m.

m: pendiente del fondo del lecho, % expresado como decimal. (entre 10% y 30% de la pérdida de carga disponible).

Sustituyendo en la ecuación (53) y reordenando obtenemos:

$$L = \left( \frac{Q}{W \cdot m} \right)^2 \quad (54)$$

La ecuación (54) permite el cálculo directo de la longitud máxima aceptable de una celda de humedal compatible con el gradiente hidráulico seleccionado.

Una relación largo-ancho  $\leq 3:1$  suele ser la mejor selección desde el punto de vista costo eficiencia, pero otras combinaciones de longitud y gradiente hidráulico son posible también de modo que se pueda ajustar la forma del humedal al sitio y su topografía. (Lara, 1999, p. 52).

*Humedales de flujo subsuperficial.* Generalmente en los humedales de tipo subsuperficial se describe un régimen de flujo en un medio poroso definido por la Ley de Darcy, usando suelo y arena como medio del lecho. Esta ley asume condiciones de flujo laminar, pero el flujo turbulento puede darse con gravas muy gruesas cuando el diseño usa un gradiente hidráulico alto. El tipo de flujo en la

realidad puede tener variables climatológicas como la precipitación, evaporación y filtración. (Lara, 1999, p. 53).

Y dado que:

—

Entonces:

(55)

Donde:

Q: Caudal promedio a través del humedal,  $m^3/d [(Q_o+Q_e)/2]$

$K_s$ : Conductividad hidráulica de una unidad de área del humedal perpendicular a la dirección de flujo,  $m^3/m^2/d$ .

$A_c$ : Área de la sección transversal perpendicular al flujo,  $m^2$ .

s: Gradiente hidráulico o “pendiente” de la superficie del agua en el sistema, m/m.

v: Velocidad de “Darcy”, la velocidad aparente del flujo a través de la totalidad del área de la sección transversal del lecho, m/d.

Reorganizando términos:

S ——— —

Donde:

W: Ancho de una celda del humedal, m.

$A_s$ : Área superficial del humedal,  $m^2$ .

L: Longitud de la celda del humedal, m.

m: Pendiente del fondo del lecho, % expresado como decimal.

y: Profundidad del agua en el humedal, m.

$$W = \left[ \frac{\text{---}}{\text{---}} \right] \quad (56)$$

Si el flujo es turbulento, entonces la conductividad hidráulica efectiva será significativamente menor que la predicha por la ley de Darcy.

$$\text{---} \quad (57)$$

Donde:

$N_R$ : Número de Reynolds, adimensional

V: Velocidad de Darcy, m/s

D: Diámetro de los vacíos del medio, tomarlo igual al tamaño medio del medio, m

$\nu$ : Viscosidad cinemática del agua,  $\text{m}^2/\text{s}$  (Ver tabla X)

La conductividad hidráulica ( $K_s$ ) varía directamente con la viscosidad del agua, que a su vez es función de la temperatura del agua:

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (58)$$

Donde:

$K_s$ : Conductividad hidráulica a una temperatura T y 20°C.

$\mu$ : Viscosidad del agua a una temperatura T y 20°C (Ver tabla 11).

Los efectos de la viscosidad pueden ser significativos en climas fríos, con humedales de flujo subsuperficial operando durante los meses de invierno.

Tabla 12.

*Propiedades físicas del agua*

| <b>Temperatura</b><br><b>°C</b> | <b>Densidad</b><br><b>(Kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Viscosidad dinámica</b><br><b>x103</b><br><b>(N*s/m<sup>2</sup>)</b> | <b>Viscosidad cinemática</b> |
|---------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 0,000                           | 999,8                                        | 1,781                                                                   | 1,785                        |
| 5,000                           | 1000,0                                       | 1,518                                                                   | 1,519                        |
| 10,000                          | 997,5                                        | 1,307                                                                   | 1,306                        |
| 15,000                          | 999,1                                        | 1,139                                                                   | 1,139                        |
| 20,000                          | 998,2                                        | 1,102                                                                   | 1,003                        |
| 25,000                          | 997,0                                        | 0,890                                                                   | 0,893                        |
| 30,000                          | 995,7                                        | 0,708                                                                   | 0,800                        |
| 40,000                          | 992,2                                        | 0,653                                                                   | 0,658                        |
| 50,000                          | 998,0                                        | 0,547                                                                   | 0,553                        |
| 60,000                          | 983,2                                        | 0,466                                                                   | 0,474                        |
| 70,000                          | 977,8                                        | 0,404                                                                   | 0,413                        |
| 80,000                          | 971,8                                        | 0,354                                                                   | 0,364                        |
| 90,000                          | 965,3                                        | 0,315                                                                   | 0,326                        |
| 100,000                         | 958,4                                        | 0,282                                                                   | 0,294                        |

Nota: Tomado de *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*, (p.55), de J. Lara, (1999), Barcelona-España. Derechos reservados por Jaime Andrés Lara Borrero.

Tabla 13.

*Características típicas de los medios para humedales SFS.*

| Tipo de material<br>$D_{10}$ (mm) | Tamaño efectivo<br>$D_{10}$ (mm) | Porosidad, n<br>(%) | Conductividad<br>hidráulica, $K_s$<br>( $m^3/m^2/d$ ) |
|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------------|
| Arena gruesa                      | 2                                | 28-32               | 100-1000                                              |
| Arena gravosa                     | 8                                | 30-35               | 500-5000                                              |
| Grava fina                        | 16                               | 35-38               | 1000-10000                                            |
| Grava media                       | 32                               | 36-40               | 10000-50000                                           |
| Roca gruesa                       | 128                              | 38-45               | 50000-250000                                          |

Nota: Tomado de *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*, (p.56), de J. Lara, (1999), Barcelona-España. Derechos reservados por Jaime Andrés Lara Borrero.

### ***Modelo de Remoción del DBO***

Lara, (1999):

Presenta una ecuación para estimar la remoción de DBO en un sistema de este tipo. El modelo se basa en la experiencia con sistemas de aplicación sobre el suelo y filtros percoladores, dada la escasez de datos sobre sistemas tipo Flujo libre (FWS) y dado también que estos datos se reservaron para la validación del modelo: (p. 68).

$$— [ ————— ] \quad (59)$$

Ce: Concentración de DBO en el efluente, mg/l

Co: Concentración de DBO en el afluente, mg/l

A: Fracción de la DBO no removida como sólidos sedimentables a la entrada del sistema, es una variable que depende de la calidad del agua (es una fracción decimal).

Kt: Constante de primer orden dependiente de la temperatura,  $d^{-1}$

Ae: Área superficial disponible para la actividad microbiana,  $m^2/m^3$ .

L: Longitud del sistema (paralelo al flujo), m

W: Ancho del sistema, m

y : Profundidad del sistema, m

n : Porosidad del sistema (espacio disponible para el paso del agua) como fracción decimal.

Q: Caudal promedio en el sistema, m<sup>3</sup>/d.

Se ha realizado otra aproximación a partir del análisis de datos de rendimiento de sistemas de este tipo en operación:

$$\text{---} \quad (60)$$

$$(61)$$

$$(62)$$

El área superficial del humedal se determinaría por la ecuación

$$\text{---} \quad (63)$$

Donde:

= Constante de temperatura proveniente de las ecuaciones (61) y (62), d<sup>-1</sup>

y: Profundidad de diseño del sistema, m

n: “porosidad” del humedal, 0,65 a 0,75.

Lara, (1999), “Las profundidades típicas de diseño van desde 0,1 m a 0,46 m dependiendo de la estación y de la calidad esperada del agua para el sistema”. (p. 70).

Según Lara, (1999):

La DBO final del efluente se ve influida por la producción de DBO residual en el sistema, producto de la descomposición del detritus de las plantas y de otras sustancias inorgánicas presentes de manera natural. Esta DBO residual está típicamente en el rango de 2 a 7 mg/l. como resultado, la DBO del efluente de un humedal de este tipo proviene de estas fuentes y no del agua residual. Por lo tanto, las ecuaciones (26) y (29) no pueden ser usadas para diseñar sistemas con una DBO en el efluente final por debajo de los 5 mg/l”. (p.71)

### ***Operación, mantenimiento y control***

La operación es muy importante si quieren obtenerse buenos resultados.

Se debe contar con un plan de operación y mantenimiento que debe escribirse durante la etapa de diseño final y sistema.

Lara, (1999), “Existen factores importantes para el rendimiento y mantenimiento, en los cuales hay que enfocarse, y tomar en cuenta de lo siguiente:

- Proporcionar una amplia oportunidad para el contacto del agua con la comunidad microbiana, con la capa de residuos de vegetación y con el sedimento.
- Asegurar que el flujo alcance todas las partes del humedal.
- Mantener un ambiente saludable para los microbios.
- Mantener un crecimiento vigoroso de vegetación”. (p. 95).

### ***Hidrología***

En humedales de Flujo Libre, el área debe estar cubierta en su totalidad por agua. Se debe verificar periódicamente para confirmar que el agua no se estanque, y se bloqueen caminos de flujo ya que aumentan la probabilidad de mosquitos. Deben verificarse flujos y niveles de agua regularmente y los humedales de flujo subsuperficial se debe verificar que no se esté desarrollando flujo en la superficie (Lara, 1999, p.95).

### ***Estructuras***

Para los humedales deben inspeccionar las estructuras de control de agua con frecuencia, ya que con subidas de caudal o después de la formación de hielo, pueden afectar el sustrato y a las estructuras de salida, implicando gastos elevados. (Lara, 1999, p.96).

### **Referencias Legales**

A continuación se muestran las normas nacionales vigentes utilizadas en el presente trabajo especial de grado:

*DECRETO No. 5.833. Ley de orgánica de ambiente. Artículo 4 y 10*

*DECRETO N° 35.595. Ley de Aguas. Artículo 6 y 54.*

*DECRETO N° 3219. Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del lago de Valencia.*

*DECRETO 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos.*

*DECRETO 3219. Calidad de las aguas del lago de Valencia.*

*Gaceta Oficial N° 4.044. Norma Sanitaria. Artículo 330.*

*Norma Venezolana COVENIN 2634:2002. Aguas naturales, industriales y residuales.*

### **Terminología básica**

**Área de la cuenca:** Superficie de la cuenca proyectada en un plano horizontal (Camacho, 2004, p. 13).

### **Agua Potable:**

El agua que es destinada al consumo humano y que satisface las características físicas, químicas, bacteriológicas, biológicas y radiológicas que establezca la Autoridad Sanitaria Competente con sus correspondientes normas y que abaste a una edificación (Gaceta Oficial N° 4.044, 1988, p. 64).

**Agua servida:** De acuerdo con el artículo 660 de la 6288) Son las aguas cloacales residuales de cualquier clase, provenientes de una edificación, o con o sin contener material fecal y/u orina, pero sin contener aguas de lluvia (p. 2).

**Calidad de agua:** Se habla de calidad de agua en referencia a las características, químicas y bacteriológicas que presenta el agua. Esta varía dependiendo del uso del agua de forma que tenga ninguna repercusión para el medio ambiente, seres humanos y animales (De Grazia y Natera, 2016, p. 20).

**Colector:** Es el conducto subterráneo o superficial, según sea el caso, en el cual vierten las alcantarillas sus aguas ya sean de lluvia o residuales en general. (Gaceta Oficial N° 4.044, 1988, p. 2)

**Caudal:** Es el total de agua de una corriente que pasa por un punto en un determinado periodo de tiempo. Su medición más sencilla es multiplicar el área transversal de la corriente por la velocidad de flujo de un objeto flotante (Roldán y Ramírez, 2008, p 84)

**Cuenca:** Toda aquella parte del terreno rodeado por una divisorita, donde el agua de lluvia que escurre por la superficie, se concentra y pasa por un punto del cauce principal que la drena. (Camacho, 2004, p. 13).

**Cupapuycito:** Nombre indígena de origen pemón denominada a la presa como fuente de abastecimiento a la ciudad de Upata.

**Desnitrificación:** Es el proceso biológico en que el nitrato y el nitrito se convierten a nitrógeno gaseoso ( $N_2$ ) que, es liberado, del medio acuático.

**Embalse:** Es la acumulación de agua producida por una construcción en el lecho de un río o arroyo que cierra parcial o totalmente su cauce. (Ven Te Chow, 1983)

**Enfermedades hídricas:** Son aquellas causadas por organismos patógenos presentes en el agua y que ingresan al organismo por la boca. La mayoría de los microorganismos que provocan estas enfermedades llegan al agua mediante contaminación con excretas humanas. (“Enfermedades Hídricas” 2013).

**Eutrofización:** Es un proceso que resulta del aumento de nutrientes, principalmente nitratos y fosfatos, que proporcionan un desarrollo exagerado de fitoplancton y plantas acuáticas (Roldán y Ramírez, p 139).

**Frecuencia o período de retorno de la lluvia:** Número de veces que el evento es igualado o excedido en un intervalo de tiempo determinado o en un determinado número de años (Camacho, 2004, p.15). Es el tiempo esperado o tiempo medio entre dos sucesos de baja probabilidad.

**Hietograma:** Es la curva de variación de la intensidad de precipitación en el tiempo. Grafico que expresa precipitación en función del tiempo.

**Insecticidas:** Químicos utilizados para prevenir, destruir, repeler o mitigar cualquier plaga. Los insecticidas pueden acumularse en la cadena alimenticia y contaminar el medio ambiente, si se les da un mal uso.

**Intensidad de la lluvia:** Es la cantidad de agua de lluvia que cae en un determinado lapso de tiempo” (Camacho, 2004, p 17).

**Lluvia Efectiva:** “Se define como la diferencia entre la lluvia total y las pérdidas” (Camacho, 2004, p.15).

**Nitrificación:** Es el proceso biológico en el que el nitrógeno amoniacal es convertido primero en nitrito y luego a nitrato, compuestos que intervienen en la eutrofización acelerada.

**Remoción biológica de nutrientes:** Es el término aplicado para describir que las concentraciones totales de nitrógeno y fósforo son disminuidas del agua mediante procesos biológicos.

**Remoción de la demanda Bioquímica de Oxígeno carbonada (DBO):** Es la conversión biológica de la materia orgánica carbonada del agua residual en tejido celular y varios productos finales en estado gaseoso. En esta conversión se considera que el nitrógeno presente (nitrógeno amoniacal) no es oxidado, las remociones esperadas del DBO son del 90%.

**Sabaneta:** Poblado situado a 12 kilómetros de Upata. Monte bajo.

**Sabanetica:** Caserío situado a 3 kilómetros de Upata. Pequeño bosque.

**Sustrato:** Es el término que se aplica a la materia orgánica o los nutrientes que constituyen la principal fuente de alimento durante los procesos biológicos. Por este motivo son el factor limitante principal de la cinética de tratamiento.

**Pesticidas:** Sustancias o mezcla de ellas para prevenir, destruir, rechazar, o mitigar cualquier peste. También, es cualquier sustancia o mezcla para usar como regulador, defoliante o desecante de la planta.

**Pendiente media de la cuenca:** (Camacho, 2004) Está definida por la media ponderar de las pendientes correspondientes a superficies elementales, en las cuales la pendiente se puede considerar constante (p. 14)

Según Camacho, (2004) “Se puede definir de diferentes maneras, la primera en pendiente media  $S_1$ , como la diferencia de cota entre dos puntos de su cauce dividida por la longitud en proyección horizontal y la otra como la pendiente ponderada la cual se obtiene trazando una línea, tal que el área comprendida entre esa línea y los ejes coordenados sea igual al área comprendida entre la curva representativa del perfil longitudinal del cauce y dichos ejes” (p. 14).

**Pérdidas:** Camacho, (2004) “Es la suma del agua que se infiltra, evapora, transpira y es interceptada durante el escurrimiento” (p 15).

**Vertido líquido:** Corresponde a toda descarga directa o indirecta a cuerpos de agua a través de canales, drenajes, descargas en el suelo o subsuelo, redes cloacales, medio marino costero y submarinas. (Según Gaceta Oficial N° 35.595. Ley de Aguas, p.3)

## **Capítulo III**

### **Marco Metodológico**

#### **Tipo de Investigación**

Según Sabino, (1993), “la investigación es aplicada “si los conocimientos a obtener son insumos necesarios para proceder luego a la acción” (p. 18). El objetivo del trabajo es resolver el problema, los resultados aportados a la investigación implementan técnicas que facilitan la solución del problema.

Asimismo, Rojas, (1997), la investigación aplicada cuenta con los siguientes objetivos:

- Mejorar un proceso o producto
- Desarrollar nuevas destrezas, productos o estrategias para resolver problemas, con aplicación a un sistema, aparato o ambiente de trabajo.

#### **Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación corresponde a la estrategia que toma el investigador para responder al problema presente. Es fundamental conocer el tipo y diseño de la investigación porque de esto depende su desarrollo.

El análisis de los procesos biológicos (lagunas o humedales) en este estudio, es una evaluación que pretende disminuir los agentes contaminantes vertidos al embalse.

Este argumento corresponde a un diseño del tipo experimental, según Sampieri, et al. (2010) “Los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control” (p. 120). Un diseño experimental es la comparación, manipulación y control de una o más variables independientes y dependientes.

## **Sistema de variables**

En el presente Trabajo de Grado, se evalúa una serie de variables que se desarrollan durante la investigación para caracterizar el cuerpo de agua afectado del embalse Cupapuycito. Comenzando con la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Oxígeno Disuelto (OD), al igual que otras variables como el pH, Coliformes, Dureza y Turbidez.

## **Técnicas e Instrumentos de recolección de información**

Ya establecido el planteamiento del problema y el diseño de investigación para la investigación, se procede a la recolección de información por medio de datos y registros que darán respuestas a los diferentes objetivos durante el proceso de investigación (Varlarino et al, 2010).

### ***Observación***

Se utilizó la técnica de observación directa al sitio, que consiste en observar atentamente el caso, el cual se utilizaron equipos de fotografía para información y registro que ayudan a su posterior análisis o interpretación.

El programa Google Earth fue utilizado como herramienta de observación para ubicar la población de Sabanetica y el embalse, un plano topográfico realizado en

AutoCAD, para la evaluación y registro de las curvas de nivel presentes en la zona, también para ubicar la toma de muestra y la zona de estudio.

### ***Software***

Los programas utilizados en el presente Trabajo de Grado son:

- Navegador Google Earth
- Microsoft Excel 2010
- Hcanales
- Autodesk, AutoCAD 2014

### ***Ensayos***

Los siguientes ensayos fueron realizados a la muestra obtenida, a las orillas del embalse Cupapuycito sector Sabanetica, para estudiar las condiciones de calidad de agua del embalse:

- Coliformes
- Dureza Total
- Turbidez
- Oxígeno Disuelto (OD)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO Coliformes totales)
- pH

Estos ensayos fueron posibles gracias a los instrumentos facilitados por el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la escuela de Ingeniería Civil, UCAB Guayana, bajo la supervisión del Coordinador de Laboratorio Ingeniero Antonio Seijas y la Técnico de Laboratorio.

### ***Instrumentos***

#### *Coliformes*

- Autoclave con operación a una temperatura de  $121 \pm 0,5^\circ\text{C}$
- Tubos de ensayo 16 x 150 mm con tapa de rosca.
- Tubos de ensayos 20 x 150 mm con tapa de rosca
- Tubos de Durham para fermentación.
- Asa de platino de diámetro no menor de 3 mm.
- Mechero a gas o de alcohol.
- Campana para sembrar cultivos.
- Incubadora o baño de maría con regulador de temperatura para operar a  $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$  y  $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$
- Gradillas para tubos de ensayos.
- Agitadores de vidrio.
- Tapabocas.
- Micropipeta graduada desde 0,1 ml hasta 1 ml.
- Puntillas azules universales.
- Guantes de látex.
- 6.1.15.-Balanza analítica
- 6.1.16.-Pipetas graduadas de 1 ml, 10 ml
- 6.1.17.-Frascos con tapa de vidrio de 100 ml
- 6.1.18.-Refrigerador con operación entre  $2 \pm 0,5^\circ\text{C}$  a  $4 \pm 0,5^\circ\text{C}$
- 6.1.19.-Vasos de precipitado de 1000 ml

#### *Dureza Total*

- Bureta.
- Erlenmeyer de 250 ml.

- Pipeta.
- Vaso precipitado.
- Cilindro graduado.

#### *Turbiedad*

- Botellas de muestras.
- Vaso de precipitado.
- Pipetas.
- Turbidímetro tipo nefelométrico.

#### *Oxígeno Disuelto*

- Medidor de Oxígeno disuelto

#### *Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*

- Botellas de incubación (Winkler) de capacidad de 60 a 300 ml.
- Incubadora controlada termostáticamente a  $20 \pm 1$  ° C, eliminando toda luz para evitar la posibilidad de producción fotosintética de OD.
- Cilindros graduados de 100,250 y 500 ml.
- Pipetas volumétricas de 5,10, 15 ml.
- Bureta Automática de 10 ml con apreciación 0,01 ml.
- Balones volumétricos de 100, 500 y 1000 ml.
- Agitador magnético.
- Vasos de precipitados.
- Bombas de aireación, mangueras y difusores.
- Papel de aluminio y/o tapas para botellas de incubación.

### *pH*

- pH metro Portátil WALKLAB Modelo Ti9000.

## **Procedimiento**

La presente investigación cumple una serie de fases que permiten desarrollar los objetivos planteados, favoreciendo a una posible solución donde se disminuyan los nutrientes que se vierten al embalse Cupapuycito.

### **Fase 1: Documentación.**

Se inicia con la recolección de datos característicos de la zona, como datos climatológicos, planos topográficos, datos hidrológicos, geología, relieve, y también información tomada de noticias que describen el problema. Sin embargo, no toda la información es completa y original, es por ello que es necesario realizar estimaciones a partir de la poca documentación disponible.

### **Fase 2: Reconocimiento del área de estudio.**

Se ubica la zona de estudio en relación con el sector Sabanetica, tomando como referencia el punto más cercano de las actividades que se realizan de agricultura y ganadería con el embalse, llevándonos así al sur de la presa a una ubicación de 8° 0'13.92"N 62°27'14.71"O.

Se elige un área de estudio no muy grande, correspondiente a 2700 m<sup>2</sup>, observando un tipo de suelo permeable de textura gruesa, vegetación de pasto ligero, clima cálido tropical.

### **Fase 3: Toma de Muestra.**

Se toma una muestra de agua del embalse a la altura de la zona de estudio, para ser sometida a una serie de ensayos de laboratorio como: Coliformes, dureza total, conductividad, turbidez, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, para caracterizar las aguas del embalse y proceder a la investigación de una solución de tipo biológica.

### **Fase 4: Estudios hidrológicos**

Se procede a realizar un balance hidrológico con la poca información recolectada, mediante comparaciones y proyecciones, que permiten garantizar las épocas de lluvia y funcionamiento del sistema de recolección de aguas, asimismo del proceso biológico que se vaya a utilizar.

### **Fase 5: Sistema de recolección de aguas de escorrentía superficial**

Se observa la forma de la cuenca de la zona de estudio, para conocer si es conveniente realizar un sistema de recolección de aguas, que pueda captar un gran porcentaje de aguas de lluvia para ser tratada, esto depende de uno o más puntos de descarga que se dirijan hacia el embalse.

### **Fase 6: Procesos biológicos para tratar las aguas de escorrentía superficial**

Debido a los factores que influyen en el escurrimiento superficial (meteorológicos, geográficos, hidrogeológicos, biológicos y antrópicos), se evalúa la necesidad de implementar la construcción de una laguna de estabilización en conjunto de un humedal, utilizando procesos biológicos para tratar las aguas de escorrentía superficial.

## Capítulo IV

### Presentación y análisis y resultados

#### Características físicas y naturales de la zona de estudio

##### *Ubicación*

El sector Sabanetica es un área semirural ubicada aproximadamente a 3 km de la ciudad de Upata, Estado Bolívar, Municipio Piar, enmarca entre (N 08° 00' 33,8"; W 62° 44' 81,5") comprendiendo la presa Cupapuycito (N 08° 01' 50,5"; W 62° 42' 71,2"). Encontrándose según el ecologista de Upata, Gruber, (1983) conformado al norte con las montañas de la Sierra Imataca, sector la Caramuca y Autopista Upata-San Félix, al sur con la Carretera Nacional Upata-El Pao, por el este Upata-el Pao y ciudad de Upata y Oeste Río Caroní y población del Pao.

##### *Geología*

Se encuentra encima de un substrato de rocas pertenecientes a la Provincia de Imataca, la cual ha sido descrita como una consecuencia sedimentaria plegada, altamente metamorfizada y cuya litología se caracteriza por la presencia de cuarcitas ferruginosas, gneises, cuarzo feldespáticos y esquistos, los cuales se encuentran intrusionados por vetas de cuarzo y en algunos casos por materiales graníticos.

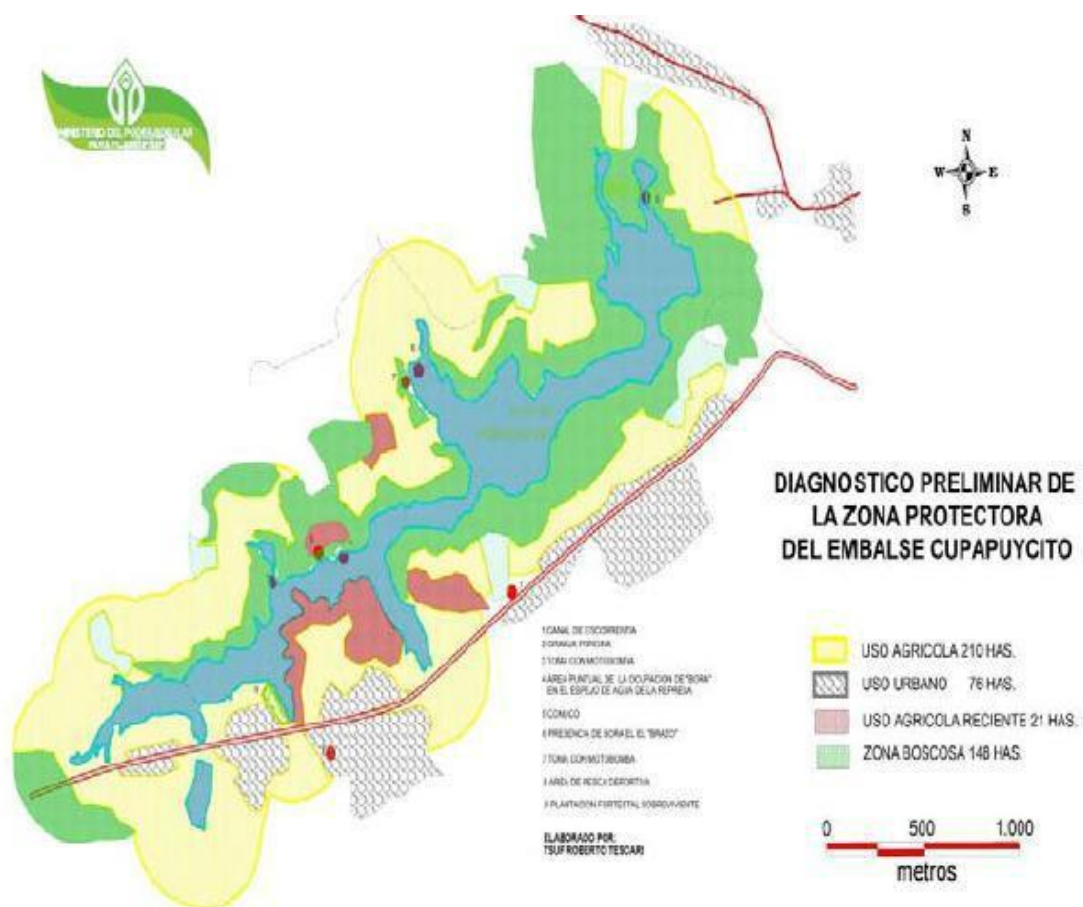
##### *Relieve*

Está caracterizada por llanuras onduladas, sobre las cuales sobresalen sierras y colinas alargadas que tienen pendientes que van de 2% a 40% con una altitud que va

desde los 425m hasta los 647m sobre el nivel del mar, separadas por anchos valles. La llanura aluvial se extiende al sur rodeado por el sistema de colinas, con una pendiente inferior al 5% y una altitud promedio de 460 metros sobre el nivel del mar.

Los sectores de colinas se ven afectados por un proceso de erosión diferencial. Esta depende de la cobertura vegetal y la pendiente, elementos estos que favorecen o dificultan el arrastre de materiales, sea por acción hídrica o eólica.

### *Usos del terreno*



*Figura 17.* Mapa cartográfico de la zona protectora y el embalse Cupapuycito. Tomado de: Diagnóstico de la Zona Protectora del Embalse Cupapuycito en el Municipio Piar, Upata – Estado Bolívar. (p.29), por M. Moreno, 2013, Venezuela.

Como se observa, la zona protectora del embalse Cupapuycito, presenta una zona agrícola de 210 has, un uso urbano de 76 has, un uso agrícola reciente de 21 has y una zona boscosa de 148 has.

### ***Vegetación***

La vegetación está conformada según Greshack, (2011) por sabana graminosa abierta, bosque de galería, bosque y cobertura antrópica de baja altura y densidad, Araguaney (*Tabebuia chrysantha*), Pardillo (*Cordia alliodora*), Saman (*Pithecellobium saman*), Roble (*Platymiscium diadelphum*), Zapatero (*Peltogyne porphyrocardia*), Chaparro (*Curatella americana*), Aceituno (*Simarouba glauca* D.C), Caoba (*Swietenia macrophylla*), entre otras.

### ***Clima***

Las abundantes precipitaciones entre mayo y agosto del año, caracterizan el clima de la ciudad de Upata y sus alrededores, haciéndolo un clima Sabana Tropical. La precipitación media anual alcanza los 1.080 mm con máximas en los meses de junio-julio y agosto con valores que oscilan entre 150 y 200 mm. Ello se debe al desplazamiento hacia el norte de la zona de ITCZ convergencia intertropical. En los meses de enero, febrero y marzo, las lluvias descienden a sus valores mínimos, ya que se entra al período de sequía.

Con la altitud, la variación de la temperatura es de 0.4° C por cada 50 metros, siendo más elevada que el gradiente normal o general que es de 0.65° C por cada 100 metros.

Por ésta razón, en el área montañosa o de colinas, es donde se presentan las temperaturas más bajas. En el sector este de la ciudad, en la parte más elevada, se observan temperaturas hasta de 24° C, las cuales resultan ser inferiores a la media

calculada para la zona. Las máximas temperaturas se registran en la parte de topografía plana en la ciudad.

Con relación a los vientos, la zona se encuentra influenciada por los vientos alisios con dirección sureste predominante. Este a causa de la topografía plana de la zona Deltaica de Venezuela. Su variabilidad se debe a efectos locales de topografía y situación.

### **Análisis físico, químico y bacteriológico del agua del Embalse Cupapuycito**

#### ***Ensayo de muestra***

Se tomó una muestra del agua a las orillas del Embalse Cupapuycito, en el sector Sabanetica, evitando la captación de desechos sólidos y cumpliendo con los métodos y normas estandarizadas.

#### ***Coliformes totales***

Los coliformes fecales son indicadores de presencia de organismos patógenos proveniente de origen humano.



*Figura 18.* Equipo utilizado para el ensayo de coliformes. (Incubadora). Muestra:  $\text{NMP} / 100\text{ml} > 16,0$ .



*Figura 19.* Tubos de ensayo de 10 ml a los 5 días de ensayo. (Resultado positivo de coliformes).

Para una cantidad de 5 tubos de ensayo de 10 ml, se obtuvo un índice de NMP /100 ml  $>16,0$ , lo cual indica presencia de turbiedad y de gas en el vial invertido en el medio de la fermentación verde brillante de lactosa bilis, a las  $48 \pm 3$  horas de incubación constituye un resultado positivo en la fase confirmatoria.

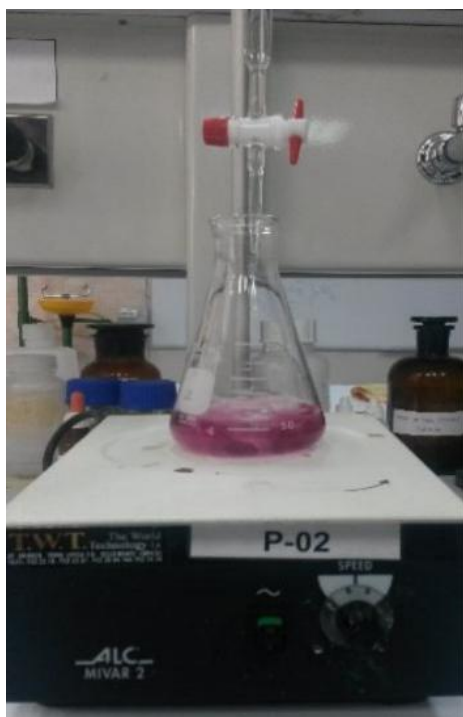
#### *Dureza Total*

El valor de la dureza determina su conveniencia para uso doméstico e industrial y la necesidad de un proceso de ablandamiento. El tipo de ablandamiento a usar y su control dependen de la adecuada determinación de la magnitud y clase de dureza.

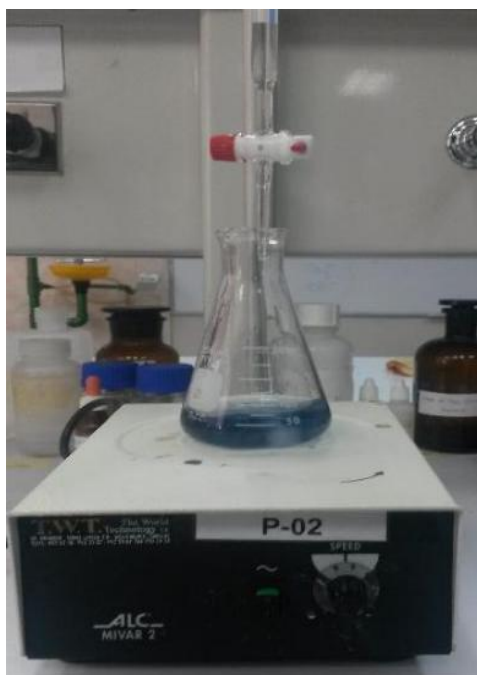
La composición química del agua y su contenido en las sales de los iones depende del suelo del que provienen.

La dureza se expresa en unidades de mg/l como  $\text{CaCO}_3$

Muestra: 191 mg/ $\text{CaCO}_3$



*Figura. 20.* Equipo utilizado para el ensayo de dureza total. (Agitador Magnético). Durante la prueba.



*Figura. 21.* Equipo utilizado para el ensayo de dureza total. (Agitador Magnético). Resultado final.

De acuerdo a la clasificación de las aguas según la dureza, (Ver tabla 5) la muestra corresponde a la clasificación aguas Duras, que se manejan en el rango de 151-300ml/CaCO<sub>3</sub>, demostrando elevada concentración de compuestos minerales, en particular sales de Magnesio y Calcio, lo cual no es satisfactorio.

### *Conductividad*

La conductividad está vinculada a la existencia de sales en etapa de solución ya que, con su disociación, se producen iones negativos y positivos que pueden trasladar la energía eléctrica cuando el líquido es sometido a un campo eléctrico. Dichos conductores iónicos reciben el nombre de electrolitos.

Muestra: 503µs/cm.



Figura 22. Equipo para calcular la conductividad. (Conductímetro).

La conductividad hace evidenciar que hay presencia de elemento iónico de tipo nitrogenado (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

### *Turbidez*

La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica causando que la luz sea dispersada y absorbida en lugar de ser transmitida en línea recta a través de la muestra.

La turbiedad en el agua puede ser causada por la presencia de partículas suspendidas y disueltas de gases, líquidos y sólidos, tanto orgánicos como inorgánicos, con un ámbito de tamaños desde el coloidal hasta partículas macroscópicas, dependiendo del grado de turbulencia

Muestra: 9,33 NTU (Unidad Nefelométrica de Turbidez).



*Figura 23.* Equipo utilizado para medir la turbidez de la muestra. (Turbidímetro).

Los resultados obtenidos de turbiedad, evidencian que los sólidos en suspensión son relativamente bajos, ya que el agua es poco turbia, por lo tanto, el ecosistema tiene buena penetración de luz, permitiendo que el fitoplancton y

zooplankton tengan buena capacidad de reproducción, y así oxigenan al cuerpo de agua.

### *Demanda bioquímica de Oxígeno*

La determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), es una prueba biológica en la cual se utilizan procedimientos normalizados para determinar los requerimientos relativos de oxígeno para la biodegradación bioquímica de la materia orgánica presente en aguas residuales, efluentes de sistemas de tratamiento y aguas contaminadas.

El análisis de oxígeno disuelto mide la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto ( $O_2$ ) en una solución acuosa. El oxígeno se introduce en el agua mediante difusión desde el aire que rodea la mezcla, por aeración (movimiento rápido) y como un producto de desecho de la fotosíntesis.

Se tomaron dos muestras y se obtuvo lo siguiente:

#### **10ml:**

OD<sub>0</sub>: 7.32 ppm

OD<sub>5</sub>: 2,16 ppm

#### **20ml**

OD<sub>0</sub>: 7.32 ppm

OD<sub>5</sub>: 2,03 ppm



Figura 24. Muestras de 10 y 20 ml en botellas de incubación (Winkler) de capacidad de 300 ml.



Figura 25. Equipo utilizado para homogeneizar las muestras de 10 y 20 ml. (Agitador magnético).

De los resultados obtenidos de DBO, se utilizó la muestra de 10 ml, porque cumple con los siguientes criterios de escogencia:

- OD mayor que 1
- $OD_0 - OD_5$  mayor que 2
- El oxígeno consumido debe estar entre: un 30% y un 70% del inicial.

### **10ml**

$$X = 70,49 \%$$

$$(100 - 70,49) \% = \text{Consumido } 30\%.$$

### **20 ml**

$$X = 72,27 \%$$

$$(100 - 72,27) \% = \text{Consumido } 28\%.$$

Con la ecuación 11, se calculó el DBO para cada muestra:

//

=====

La muestra que se utilizó fue la de 10 ml, ya que cumple con los tres criterios prefijados como condición de ser la disolución que más se adapta al fenómeno en particular, por lo tanto, se tomó el DBO correspondiente a la muestra que es de 154,8 ppm.

## pH

La medición de pH es una de las pruebas más importantes que se utilizan en la química del agua. A una temperatura dada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución se indica por la actividad del ión hidrógeno o pH, dado por la siguiente expresión:  $\text{pH} = -\log a_{\text{H}^+}$ .

Muestra: 7,02 pH



Figura 26. Equipo utilizado para medir el pH de la muestra (pH metro).

De acuerdo a los valores obtenidos el pH es neutro.

Tabla. 14.

*Evaluación de parámetros organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos del agua del embalse Cupapucito en el 2011.*

**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS:**

**ANÁLISIS: DE AGUA POTABLE**

|                                    |                      |                    |                     |                                             |
|------------------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------------------|
| FECHA TOMA MUESTRA:                | 07/04/11             | 07/09/2011         | UBICACIÓN GENERAL   | Planta y Lago de CUPAPUCITO- Upata, Bolívar |
| HORA DE TOMA                       | 0.50 a.m             | 10.05 a.m          | CAPTADOR DE MUESTRA | Eduardo Greschak                            |
| N° DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | 2011-2-LAB-01        | 2011-2-LAB-02      | VOLUMEN DE MUESTRA  | 250 ml                                      |
| LUGAR DE CAPTACIÓN                 | Embalse-<br>Afluente | Efluente de Planta | FECHA DE ANÁLISIS   | 07 al 09 de 2011                            |

**ASPECTOS ORGANOLÉPTICOS**

| PARÁMETROS  | RESULTADOS |    | UNIDAD | LÍMITE MAX.<br>NORMA AMB. | STANDARD METHODS ED. 17          |
|-------------|------------|----|--------|---------------------------|----------------------------------|
| TEMPERATURA |            |    | °C     |                           | Standard Method 2550-B           |
| COLOR       | 10         | 40 | UCV    | > 5 < 15                  | Visual Comparison Method, 2120-B |

**ASPECTOS FÍSICOQUÍMICOS**

| PARÁMETROS                | RESULTADOS |        | UNIDAD                 | LÍMITE MAX.<br>NORMA AMB. | STANDARD METHODS ED. 17                      |
|---------------------------|------------|--------|------------------------|---------------------------|----------------------------------------------|
| pH                        | 6.26       | 6.22   | -                      | 6,5 - 8,5                 | pH Value, 4500- H <sup>+</sup>               |
| TURBIEDAD                 | 1.43       | 1.58   | UNT                    | 1 < 5                     | Nephelometric Method Turbidity Units, 2130-B |
| SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES | 336        | 276    | mg/L                   | 600 < 1000                | Standard Method 2540-C                       |
| DUREZA TOTAL              | 170        | 160    | mg/L CaCO <sub>3</sub> | 250 < 500                 | Standard Method 2340-C                       |
| CONDUCTIVIDAD             | 436        | 453    | uS/cm                  |                           | Standard Method 2510-B                       |
| CLORUROS                  | 191.43     | 285.37 | mg/L                   | 250 < 300                 | Standard Method 4500-Cl B                    |
| SULFATOS                  |            |        | mg/L                   | 250 < 500                 | Standard Method 4500-SO <sub>4</sub> E       |
| HIJERRO TOTAL             | 0.20       | 0.40   | mg/L                   | 0,1 < 0,3                 | Standard Method 3500-Fe D                    |
| MANGANESO TOTAL           |            |        | mg/L                   | 0,1 < 0,5                 | Standard Method 3500-Mn D                    |

**ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS**

| PARÁMETROS         | RESULTADOS |  | UNIDAD      | LÍMITE MAX.<br>NORMA AMB.           | STANDARD METHODS ED. 17            |
|--------------------|------------|--|-------------|-------------------------------------|------------------------------------|
|                    |            |  |             | Ausentes, en<br>95 % de<br>muestras |                                    |
| COLIFORMES TOTALES |            |  | NMP/ 100 ml |                                     | Standard Total Coliform NMP 9221-B |
| COLIFORMES FECAL   |            |  | NMP/ 100 ml | Ausentes                            | Standard Method NMP - 9221-C       |

*Nota:* Adaptado de propuesta para la adecuación, con un enfoque sistémico, del acueducto Cupapucito- Sabaneta, ubicado en el municipio piar del estado Bolívar. (p. 161) de E. Greschak, (2011). Venezuela. Derechos reservados por el Ing Eduardo Greschak.

Tabla 15.

*Análisis físico, químico y bacteriológico del agua del Embalse Cupapuycito (2016)*

|                                                  |                                                                      |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| FECHA DE TOMA DE MUESTRA:<br>10/06/2016          | TIPO DE MUESTRA:                                                     |
| N° DE IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA:<br>#1           | HORA DE MUESTREO: 10:30 a.m<br>VOLÚMEN DE MUESTRA: 500 ml            |
| HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS:                   | 02:00 p.m                                                            |
| CANTIDAD DE MUESTRAS                             | 1                                                                    |
| TÉCNICO CAPTADOR DE LA MUESTRA:                  | Antonella Echenique                                                  |
| UBICACIÓN GENERAL DE LA TOMA DE MUESTRA          | Embalse Cupapuycito                                                  |
| UBICACIÓN ESPECÍFICA DE LA TOMA DE MUESTRA       | Orillas del Embalse Cupapuycito, Sector Sabanetica                   |
| MUESTRA                                          | Agua 500 ml                                                          |
| TIPO E IDENTIFICACIÓN DE RECIPIENTE              | Botella de agua identificada con el nombre del embalse (Cupapuycito) |
| AGENTE CONSERVADOR S / APLICA                    | N / APLICA                                                           |
| INSTITUCIÓN, ORGANISMO, DEPENDENCIA, SOLICITANTE | -                                                                    |
| TIEMPO CONSUMIDO INCLUYENDO TRANSPORTE ( HORAS ) | 5 horas                                                              |
| <b>PARÁMETROS A ANALIZAR</b>                     | <b>OBSERVACIONES</b>                                                 |
| TINCIÓN DE BACTERIAS GRAM                        | -                                                                    |
| COLIFORMES TOTALES                               | NMP > 16,0                                                           |
| PH                                               | 7,02                                                                 |
| TEMPERATURA                                      | -                                                                    |
| TURBIEDAD                                        | 9,33 NTU                                                             |
| CONDUCTIVIDAD                                    | 503 $\mu$ s/cm.                                                      |
| DUREZA TOTAL                                     | 191 mg/CaCO <sub>3</sub>                                             |
| OXÍGENO DISUELTO                                 | ANÁLISIS DE INMEDIATO                                                |
| DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO                    | 154,8 ppm                                                            |

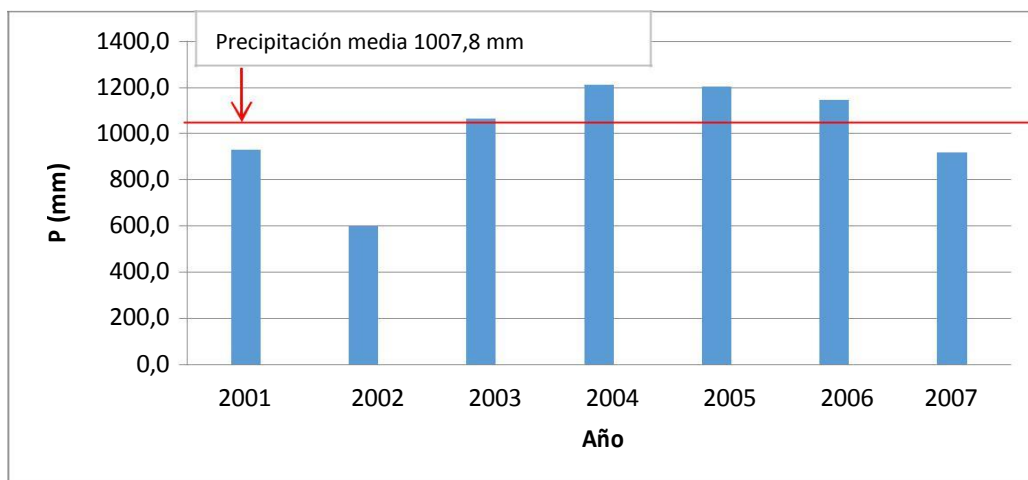
Realizando un análisis comparativo entre los datos obtenidos hace 5 años (2011) por el Ing. Eduardo Greschak con los actuales, se evidencia un incremento en

los valores de pH, turbiedad, dureza, conductividad., comprometiendo la calidad del agua.

### **Determinación de la hidrometría en la zona de estudio.**

Del sistema de información que existe en la empresa hidroeléctrica en el estado Bolívar se obtuvo la serie diaria de datos de precipitación y evaporación utilizada en la investigación. Se tomaron de la estación Upata, latitud  $07^{\circ} 58' 54''$ , longitud  $62^{\circ} 19' 43''$  y altitud 376 m.s.n.m, un que va del año 2001 hasta el año 2014, para observar el comportamiento de las precipitaciones durante este período.

Se observó que existen datos faltantes de los años 2008, 2009, y 2010, sin embargo, se realizó un Hietograma para el período del 2001 al 2007 (*Figura 27*) y otro para el período 2011 al 2014 (*Figura 28*). Observando la *Figura 27*, los años húmedos que quedan por encima de la precipitación media (como 2003, 2004, 2005, 2006), mientras que los años secos son los que quedan por debajo (como 2001, 2002, 2007). Se pueden denominar “años medios” aquellos que quedan próximos a la precipitación media de 1007,8 mm.



*Figura 27.* Hietograma anual de la Estación Upata (Precipitación Total Anual vs el tiempo) (2001-2007).

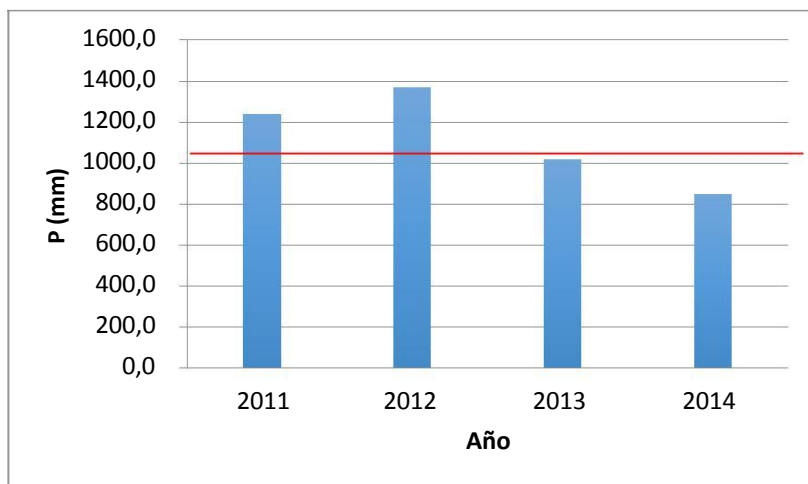


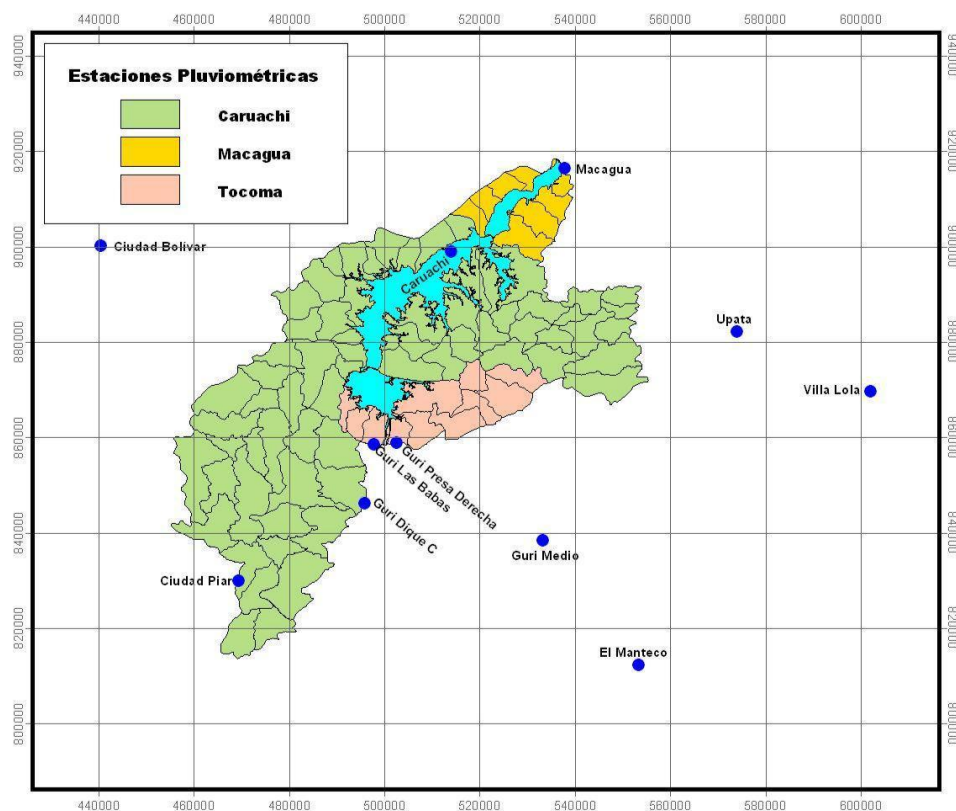
Figura 28. Hietograma de la Estación Upata (Precipitación Total Anual vs el tiempo) (2011-2014).

### ***Balance hídrico***

Para un suelo edáfico o en la zona radicular para el cálculo de la escorrentía total o excedentes, se debe analizar la metodología de un Balance hídrico, el cual nos permite identificar aquellos períodos que pueda existir suficiente agua en el suelo para que las plantas puedan desarrollarse satisfactoriamente, permitiendo ubicar y cuantificar condiciones húmedas, deficiencias y excedentes en función del comportamiento típico de tres grandes variables agroclimáticas y su distribución en el tiempo; la precipitación, la evapotranspiración y la capacidad de almacenamiento del suelo.

Por la ausencia de datos de evaporación de la estación Upata, el estudio se realizó con base a los registros de precipitación, evaporación y temperatura de la estación meteorológica. Caroní (Macagua) como referencia, por ser la estación más cercana a la estación Upata, además teniendo en disposición el alcance de los registros de esta estación, justificándolo con la comparación de la precipitación media anual de las dos estaciones, tomando en cuenta que una completa información. En el bajo Caroní se encuentran las estaciones Macagua y Upata el cual comprende un rango de precipitación media anual de 1000mm y 2000mm. Al observar

anteriormente una precipitación aproximada de 1008 mm de la estación Upata, demuestra que las dos estaciones por su cercanía, tiene un comportamiento similar. (Ver figura 29) (Ver figura 41 y 42 del ANEXO B).



*Figura 29.* Ubicación de las estaciones pluviométricas en las cuencas contribuyentes al Bajo Caroní. Tomado de *Estimación de la producción de sedimentos en la cuenca tributaria al Embalse Macagua, C.G.R. Ingeniería*, (p. 4), Empresa Hidroeléctrica del Estado Bolívar, 2001, Venezuela. Derechos reservados por Empresa Hidroeléctrica del Estado Bolívar.

A continuación, se muestra registros del período 2001-2007 de la estación Upata, y registros de evaporación de la estación Macagua del mismo período. Con estos datos se pudo realizar un balance hidrológico de Upata, el cual nos permite conocer el período de condiciones de humedad en el suelo en relación con las limitaciones para el desarrollo de las plantas, para obtener una visión más amplia de la investigación del presente Trabajo Especial de Grado.

Tabla 16.

*Temperatura media anual (°C). Estación Upata.*

|      | Enero | Feb. | Marz. | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agos. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Total |
|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| 2001 | 26,4  | 23,8 | 28,7  | 28,2  | 29,8 | 27,0  | 27,1  | 27,2  | 26,7 | 28,4 | 27,4 | 27,6 | 27,4  |
| 2002 | 26,9  | 24,9 | 28,4  | 28,1  | 27,7 | 26,0  | 26,7  | 27,5  | 27,6 | 28,9 | 26,5 | 26,7 | 27,2  |
| 2003 | 26,8  | 25,2 | 29,3  | 29,5  | 27,6 | 26,3  | 26,8  | 27,7  | 26,9 | 28,9 | 27,0 | 27,4 | 27,5  |
| 2004 | 26,8  | 26,0 | 29,0  | 28,9  | 27,8 | 26,1  | 26,3  | 27,5  | 27,0 | 28,7 | 27,3 | 27,4 | 27,4  |
| 2005 | 26,8  | 25,3 | 29,6  | 29,1  | 28,1 | 27,0  | 27,3  | 27,7  | 28,3 | 29,2 | 27,2 | 25,8 | 27,6  |
| 2006 | 26,0  | 24,4 | 28,2  | 29,4  | 29,4 | 26,3  | 26,9  | 27,7  | 26,8 | 28,8 | 27,0 | 27,1 | 27,4  |
| 2007 | 26,9  | 25,3 | 28,7  | 29,5  | 29,7 | 26,0  | 27,2  | 27,1  | 26,7 | 27,9 | 26,6 | 26,0 | 27,3  |
| T    | 26,7  | 25,0 | 28,8  | 29,0  | 28,6 | 26,4  | 26,9  | 27,5  | 27,1 | 28,7 | 27,0 | 26,9 | 27,4  |

Tabla 17.

*Precipitación media anual (mm). Estación Upata*

|      | Enero | Feb. | Marz. | Abril | Mayo  | Junio | Julio | Agos. | Sep.  | Oct.  | Nov.  | Dic. | Total |
|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 2001 | 8,7   | 10,1 | 0,6   | 15,2  | 50,3  | 106,9 | 93,9  | 160   | 143,8 | 214,7 | 70,1  | 55,4 | 929,7 |
| 2002 | 86,6  | 6,9  | 26,4  | 37,5  | 80,9  | 103,8 | 2,2   | 0,5   | 26,2  | 63,5  | 134,7 | 23,9 | 593,1 |
| 2003 | 8,9   | 8,3  | 0,0   | 20,8  | 138,7 | 159,5 | 149,9 | 56,3  | 118,9 | 170,0 | 183,0 | 47,6 | 593,1 |
| 2004 | 38    | 15   | 10    | 24    | 262   | 75    | 176   | 126   | 105   | 130   | 121   | 130  | 593,1 |
| 2005 | 77    | 27   | 11    | 82    | 187   | 105   | 307   | 136   | 76    | 25    | 97    | 74   | 593,1 |
| 2006 | 99    | 38   | 23    | 21    | 200   | 112   | 107   | 156   | 124   | 106   | 113   | 45   | 593,1 |
| 2007 | 17    | 19   | 24    | 2     | 45    | 201   | 171   | 212   | 53    | 0     | 60    | 115  | 593,1 |
| P    | 47,8  | 17,7 | 13,6  | 28,8  | 137,7 | 123,3 | 143,8 | 120,9 | 92,3  | 101,2 | 111,2 | 70,0 | 1008  |

Tabla 18

*Evaporación media anual (mm). Estación Upata.*

|      | Enero | Feb.  | Marz. | Abril | Mayo  | Junio | Julio | Agos. | Sep.  | Oct.  | Nov.  | Dic.  | Total |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2001 | 193,7 | 191,4 | 265,9 | 250,8 | 235,2 | 185,1 | 167,4 | 168,0 | 170,9 | 180,1 | 160,0 | 151,6 | 2320  |
| 2002 | 179,3 | 209,1 | 232,2 | 217,0 | 175,4 | 140,5 | 142,8 | 178,2 | 181,3 | 204,8 | 150,7 | 158,3 | 2170  |
| 2003 | 176,0 | 214,0 | 275,9 | 265,1 | 176,3 | 144,2 | 138,7 | 176,1 | 168,2 | 184,7 | 152,8 | 163,4 | 2235  |
| 2004 | 176,0 | 221,3 | 262,3 | 253,9 | 161,0 | 153,8 | 146,2 | 164,2 | 167,3 | 188,7 | 168,9 | 165,6 | 2229  |
| 2005 | 142   | 191   | 282   | 242   | 0     | 152   | 146   | 166   | 200   | 208   | 156   | 144   | 2028  |
| 2006 | 125   | 177   | 226   | 265   | 214   | 141   | 145   | 163   | 187   | 182   | 160   | 149   | 2136  |
| 2007 | 173   | 238   | 244   | 270   | 234   | 136   | 155   | 146   | 56    | 187   | 169   | 127   | 2134  |
| E    | 97,1  | 206,0 | 255,5 | 252,0 | 170,8 | 150,4 | 148,8 | 165,8 | 161,4 | 190,8 | 159,6 | 151,3 | 2109  |

Para el computo del balance descrito en la sección teórica de la presente investigación, en cuanto al valor de retención húmeda (Capacidad de campo) se tomó el valor de 60 mm (Ver Tabla 4) ya que para los suelos de las mesas orientales se han reportado valores de retención de agua que oscilan entre los 50 y 60 mm por metro de profundidad, en varios perfiles analizados, con determinaciones de laboratorio y mediciones de campo (Bisbal et al, 1993).

Tabla 19.

*Datos para el balance hídrico de la zona de estudio*

Capacidad de campo de 60 mm.

|              | Enero | Feb.  | Marz. | Abril | Mayo  | Junio | Julio | Agos. | Sep.  | Oct.  | Nov.  | Dic.  | Total |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>P</b>     | 47,8  | 17,7  | 13,6  | 28,8  | 137,7 | 123,3 | 143,8 | 120,9 | 92,3  | 101,2 | 111,2 | 70,0  | 1008  |
| <b>Evap.</b> | 97,1  | 206,0 | 255,5 | 252,0 | 170,8 | 150,4 | 148,8 | 165,8 | 161,4 | 190,8 | 159,6 | 151,3 | 2109  |
| <b>ETP</b>   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <b>ETR</b>   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <b>ARE</b>   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <b>Exc</b>   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <b>Def</b>   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Para completar el balance, se debe tomar en cuenta que la reserva inicial en el suelo es cero, dado que se empieza a contar justo después de los meses que han presentado la menor cantidad de caudal. Se debe saber que, si la precipitación en un mes determinado supera la evaporación potencial, se puede considerar que esta será idéntica a la evapotranspiración real. El resto pasa entonces a engrosar las reservas del suelo hasta alcanzar su capacidad de campo de 60mm, que es donde empieza a producirse escorrentía.

Si por el contrario la precipitación es inferior, a la evaporación potencial, la evapotranspiración real será igual a todo lo que haya llovido más el volumen necesario de la reserva hasta alcanzar el valor de la evapotranspiración potencial. En el caso de que entre precipitación y reserva no se llegue a la evapotranspiración potencial, se toma la diferencia como déficit.

Tabla 20.

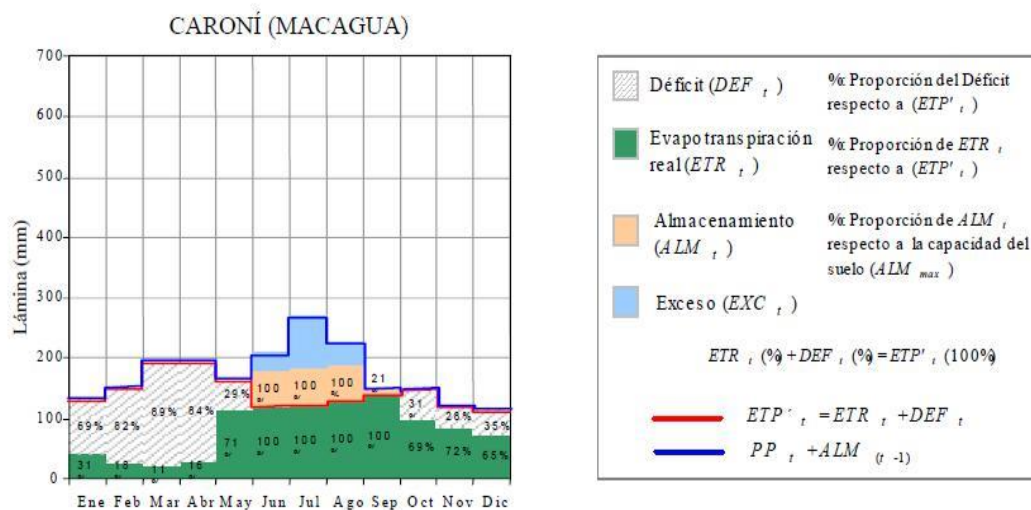
*Balance hídrico para la zona de estudio*

Capacidad de campo de 60 mm.

|              | Enero | Feb.  | Marz. | Abril | Mayo  | Junio | Julio | Agos. | Sep.  | Oct.  | Nov.  | Dic.  | Total |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>P</b>     | 47,8  | 17,7  | 13,6  | 28,8  | 137,7 | 123,3 | 143,8 | 120,9 | 92,3  | 101,2 | 111,2 | 70,0  | 1008  |
| <b>Evap.</b> | 97,1  | 206,0 | 255,5 | 252,0 | 170,8 | 150,4 | 148,8 | 165,8 | 161,4 | 190,8 | 159,6 | 151,3 | 2109  |
| <b>ETP</b>   | 68    | 144   | 179   | 176   | 120   | 105   | 104   | 116   | 113   | 134   | 112   | 106   | 1477  |
| <b>ETR</b>   | 47,8  | 17,7  | 13,6  | 28,8  | 120   | 105,0 | 104   | 116   | 92,3  | 101,2 | 64,3  | 70    | 881   |
| <b>ΔRE</b>   |       |       |       |       | 17,7  | 36,0  | 60,0  | 60    | 39,3  | 6,5   | 5,7   | -30,3 |       |
| <b>Exc</b>   |       |       |       |       |       |       | 15,8  | 4,9   |       |       |       |       | 21    |
| <b>Def</b>   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 17,7  | 18,3  | 39,8  | 4,9   | 0,0   | 0,0   | 46,9  | 0,0   | 128   |

Los resultados obtenidos mostrados, fueron comparados con un Balance hídrico de la estación Macagua para explicar su comportamiento, arrojándonos excedentes en los meses de julio y agosto, que al poder compararlos con el Balance Hidrológico para la estación Macagua (Tabla 14 del Anexo B) y la *figura 29*, se observa el excedente en los mismos meses.

El balance hídrico realizado, confirma una vez más el clima cálido y lluvioso de la ciudad de Upata, con una temperatura promedio anual mayor a 26°C y una precipitación de 700 a 1199 mm/año. De acuerdo a los resultados obtenidos, los meses de Julio y Agosto, son el periodo con más capacidad de agua en el suelo como parte imprescindible en el desarrollo de los vegetales, es decir, que el proceso hidrológico diseñado tendrá mejores condiciones de humedad relacionado con el rendimiento de las plantas en este periodo. Por lo contrario, para el resto del año habrá agua almacenada pero no en gran cantidad, sabiendo que la región es semidesértica, donde la evapotranspiración excede la precipitación, a causa de la acumulación de nutrientes en un medio que cada vez pierde más volumen de agua.



**Figura 30.** Balance Hídrico de la Cuenca del Río Caroní, Estación Macagua. Tomado de *Caracterización de los elementos climáticos*, (p. 3), por empresa Hidroeléctrica del Estado Bolívar, (s.f) Venezuela. Derechos reservados por C.V.G EDELCA.

### **Evaluación de la necesidad de implementar sistemas de recolección de aguas de escorrentías.**

En caso que la zona de escurrimiento presente varias cuencas que converjan al embalse, es necesario implementar el diseño de un sistema de recolección de aguas de escorrentía constituidas por varios puntos de entrada para un mayor alcance en la captación, todo depende de la cantidad de agua escurrida par ser un gran o sencillo diseño.

Luego de saber la caracterización de la zona, se procede a realizar el posible trazado del canal para el cálculo de las dimensiones del colector y tomas de entradas de este.

El área de impacto seleccionado es de 90 m de largo por 30m de ancho, es decir 0,27 Ha con una pendiente de 8,78% (cotas: 373.9m.s.n.m y 366 m.s.n.m, ver

figura 31) presentando varios puntos de descarga al embalse. A continuación, se describe el diseño del canal, iniciando con el cálculo del caudal pico.

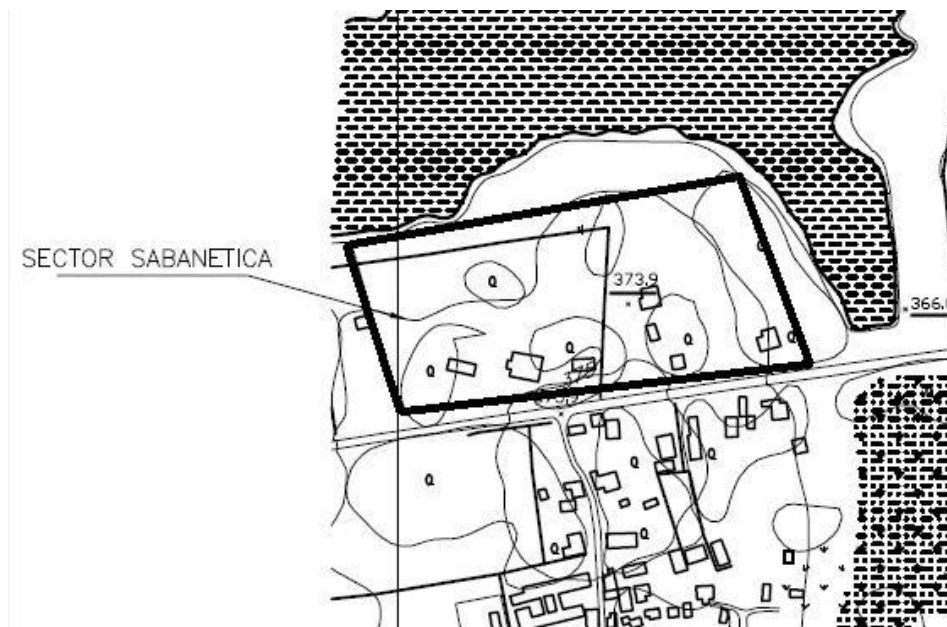


Figura 31. Zona de estudio seleccionada.

### ***Cálculo del caudal de diseño.***

Para el cálculo de caudal de diseño, se comparó los resultados de caudal pico del método Racional y el método del Hidrograma Triangular (Los métodos indirectos más comunes), para el canal de diseño.

*Método Racional.* Para la determinación del tiempo de concentración, se calculó el tiempo de concentración superficial ( $T_{cs}$ ) (Ecuación 2), con un valor de  $M$  de 100 m/min de tipo de cobertura cultivos terracedos, pastos altos, berbecho (Tabla 2) y un tiempo de viaje ( $T_v$ ) (Ecuación 3), para el cálculo de tiempo de concentración ( $T_c$ ).

$$\sqrt{\frac{L}{M}}$$

$$\frac{L}{M}$$

---

Con una duración de 4,63 min y un tiempo de período de retorno ( $T_r$ ) de 2 años, se consigue una intensidad de 325 l/s/Ha (Ver *figura 39* de ANEXO A) al igual que con una pendiente de 8,78%, un tipo de vegetación de pastos-vegetación ligera, y un tipo de suelo permeable, se escoge en la tabla 1 un coeficiente de escorrentía  $C$  de 0,25.

Aplicando la Ecuación 4, se expresa que:

*Método del hidrograma triangular.* Con un área de  $0,0027 \text{ km}^2$ , un tiempo de concentración de 0,08 horas, una intensidad de lluvia para una duración de 0,08 h y un  $T_r$  de 2,33 años (Ver *figura 38* de ANEXO A) de 75 mm/h, y un coeficiente de escorrentía de la cuenca de 0,25. Se determina el hidrograma triangular, expresando que:

De la tabla 3, para un tiempo de concentración de 0.08 h y un tiempo de retardo de 1, el tiempo de pico es (Ecuación 8):

---

Una lámina de lluvia (Ecuación 7), y una lluvia efectiva de la (Ecuación 6), expresan los resultados de:

$$LL_e = 5,79 \times 0,25 = 1,45 \text{ mm}$$

Sustituyendo en la Ecuación 5, el caudal pico es:

---


$$m^3/s = 6,45 \text{ l/s}$$

Es posible que llame la atención al ver la diferencia de caudal por estos distintos métodos, aunque en realidad son bastante comunes en el campo de la hidrología. Es por eso que se escogió el caudal de 6,45 L/s que se familiariza con el área de estudio.

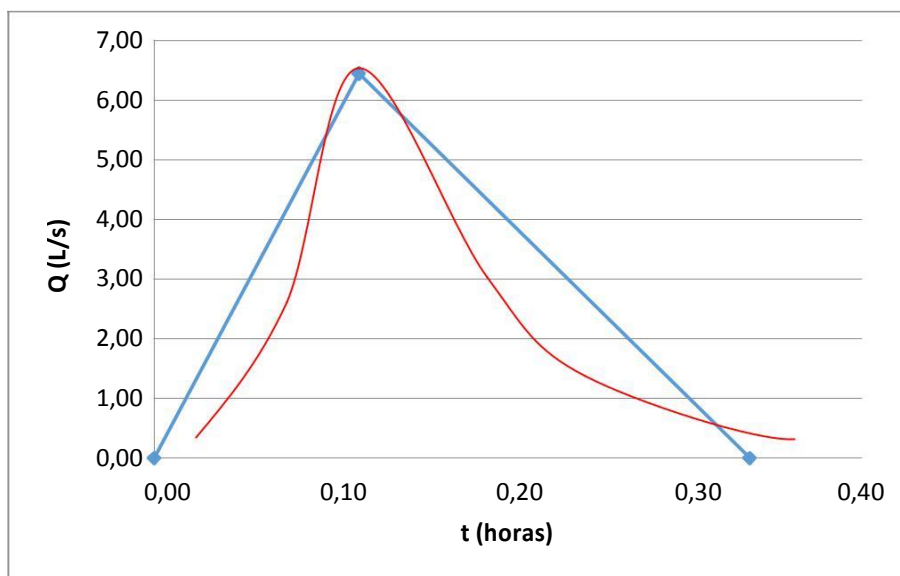


Figura 32. Hidrograma Triangular Caudal (l/s) vs (h).

### ***Diseño de canal de recolección de aguas de escorrentía.***

Para el cálculo de las características del canal, se usó el programa Hcanales, el cual es un programa desarrollado por el Ingeniero Peruano Máximo Villón Béjar, que permite de una manera rápida y sencilla el diseño de canales, al igual que resolver los problemas más frecuentes en estos y estructuras hidráulicas (figura 32).



Figura 33. Programa HCANALES.

En el diseño del canal, se escogió un canal circular, para la protección del flujo de agua. En el cálculo del Tirante-Critico, presionando la opción “Tirante-Critico” de la tabla de menú del programa, y luego “sección circular” (figura 34), se ingresó en datos el caudal pico hallado anteriormente por el método de Hidrograma triangular de 6,45 L/s y un diámetro de 10”, es decir 250 mm. (figura 35) y finalizar con un clic en el botón “Calcular”. El cual nos arroja como resultado un tirante critico (y) de 0,0631 m, un área hidráulica de  $0,0097 \text{ m}^2$ , un espejo de agua (T) de 0,2172 m, un número de froude (F) igual a 1 siendo un flujo supercrítico, un perímetro mojado de 0,2632 m, un radio hidráulico de 0,0370 m, una velocidad de 0,6629 m/s y una energía específica de 0,0855 m.Kg/Kg como lo muestra la figura 36.

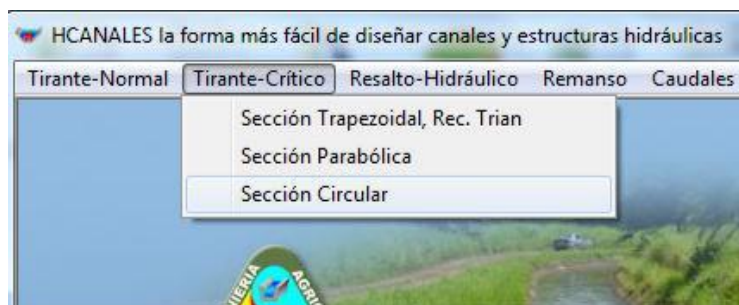


Figura 34. Selección de la sección transversal del canal. Programa HCANALES.

**Datos:**

Caudal (Q):  m³/s

Diámetro (d):  m

Proyecto:

Revestimiento:

Diagrama de sección circular con diámetro  $d$  y tirante  $y$ .

**Calcular**

Perímetro mojado (p):  m

Radio hidráulico (R):  m

Velocidad (v):  m/s

Energía específica (E):  m-Kg/Kg

Botones: Calcular, Limpiar Pantalla, Imprimir, Menú Principal, Calculadora

Figura 35. Datos para el cálculo de Tirante Critico. Programa HCANALES.

**Datos:**

Caudal (Q):  m³/s

Diámetro (d):  m

Diagrama de sección circular con diámetro  $d$  y tirante  $y$ .

**Resultados:**

Tirante crítico (y):  m

Área hidráulica (A):  m²

Espejo de agua (T):  m

Número de Froude (F):

Perímetro mojado (p):  m

Radio hidráulico (R):  m

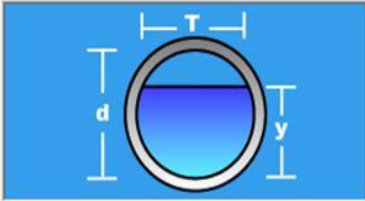
Velocidad (v):  m/s

Energía específica (E):  m-Kg/Kg

Figura 36. Cálculo del Tirante Critico, sección circular, tomada del programa de cálculo de canales, HCANALES.

Con el tirante crítico hallado de 0,0631 m, un diámetro de 10", una rugosidad de 0,015 para una tubería de concreto (Ver tabla 7), y una pendiente de 1% como pendiente mínima para aguas servidas según la Norma Sanitaria 4044, el programa nos arroja los siguientes resultados (figura 37):

| Datos:          |          |
|-----------------|----------|
| Tirante (y) :   | 0.0631 m |
| Diámetro (d) :  | 0.25 m   |
| Rugosidad (n) : | 0.015    |
| Pendiente (S) : | 0.01 m/m |



| Resultados:            |                          |                          |                |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|
| Caudal (Q) :           | 0.0072 m <sup>3</sup> /s | Velocidad (v) :          | 0.7397 m/s     |
| Área hidráulica (A) :  | 0.0097 m <sup>2</sup>    | Perímetro mojado (p) :   | 0.2632 m       |
| Radio hidráulico (R) : | 0.0370 m                 | Espejo de agua (T) :     | 0.2172 m       |
| Número de Froude (F) : | 1.1160                   | Energía específica (E) : | 0.0910 m-Kg/Kg |
| Tipo de flujo :        | Supercrítico             |                          |                |

Figura 37. Cálculo de caudal, sección circular. HCANALES.

En el ANEXO E, se muestra el trazado, ubicación y dimensionamiento del sistema de recolección de aguas de escorrentía, incluyendo el diseño de los dispositivos de entrada de agua al canal.

El sistema de recolección de agua de escorrentía nos brinda una mayor captación de la escorrentía superficial, evitando la descarga directa al embalse, además siendo esta desviada al proceso biológico seleccionado según el estudio de la zona.

### **Diseño de un sistema de tratamiento para aguas de escorrentía superficial**

#### ***Dimensionamiento de una laguna de estabilización***

El objetivo principal de las lagunas de estabilización es remover de las aguas residuales la materia orgánica que ocasiona la contaminación, evitando un grave peligro para la salud.

Considerando los distintos tipos de lagunas de estabilización, se tomó la decisión de diseñar una laguna facultativa, por ser aquella que posee una zona aerobia

y una zona anaerobia, situadas respectivamente en superficie y fondo, son el tipo más usado y debido a las condiciones anaerobias que mantiene en la superficie, liberan oxígeno, y las condiciones anaerobias mantenidas en la parte inferior donde la materia orgánica se sedimenta.

La técnica de investigación más importante para este Trabajo Especial de Grado fue la observación directa, que nos permitió recolectar la muestra y las características de la zona de estudio.

El caudal correspondiente a la laguna facultativa es de 6,45 l/s, se calculó mediante el Método del Hidrograma Triangular (Método Indirecto), mencionado anteriormente. Para el diseño de la laguna es necesario presentar el caudal en unidades de  $\text{m}^3/\text{día}$ .

#### Datos

|                                                    |                    |
|----------------------------------------------------|--------------------|
| CAUDAL ( $\text{m}^3/\text{día}$ )                 | 557,28             |
| DBO ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )                     | 0,1548             |
| Contribución per cápita de DBO gr DBO/hab. día     | 54 Según Norma 883 |
| T promedio mes más frío ( $^{\circ}\text{C}$ )     | 25                 |
| T promedio mes más caliente ( $^{\circ}\text{C}$ ) | 30                 |

Zona de estudio:

Carga orgánica:

---

En las lagunas de estabilización no existe temperatura uniforme por eso es conveniente usar la expresión de temperatura media o temperatura superficial de la laguna. (Rolim, 2000, p. 203).

Temperatura de diseño

Se toma la temperatura del mes más frío

T diseño:  $25 + 1 = 26 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Para el cálculo de la laguna de estabilización se presentaron diferentes modelos para el dimensionamiento, que explican los procesos que se realizan en la remoción de materia orgánica, medida como DBO.

Para el siguiente cálculo, se utilizó el método de Hermann y Gloyna, el primer modelo que describe el comportamiento de lagunas de estabilización facultativas en base a la teoría cinética.

Carga orgánica superficial:

Se utilizó la expresión de la ecuación 20:

Rolim, 2000, “Las lagunas facultativas tienen profundidades que varían de 1,5 a 2,5 metros, con áreas relativamente grandes”. (p. 201).

Se asumió: Profundidad de 2 metros. Ver (figura 12).

Área requerida (AR):

\_\_\_\_\_

AR: 0,31 Ha

AR: 3.100 m<sup>2</sup>

El esquema típico de lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales es el llamado sistema australiano, que consiste en dos lagunas en serie. Para evitar variaciones bruscas de DBO<sub>5</sub>, es necesario mantener la relación de áreas con una relación siempre menor que 1:3.

Para dos lagunas:

AR1: 0,155 Ha = 1.550 m<sup>2</sup>.

AR2: 0,155 Ha = 1.550 m<sup>2</sup>.

Asumiendo un ancho  $L/2=W$

$W = \sqrt{\frac{\text{Área}}{2}} \cdot 100$

Se utilizó la relación de áreas 1:2.

W= 27,84 m

L= 55,68 m

El área total de las lagunas es de 3.100 m<sup>2</sup>. No es conveniente realizar el diseño de la laguna de estabilización facultativa, debido a que no se dispone de área suficiente, comparando el área total de las lagunas con el área de estudio de 2.700 m<sup>2</sup>.

### ***Dimensionamiento de un humedal artificial***

Para calcular el humedal artificial, se utilizó el sistema de Flujo Libre, aplicando el modelo de diseño de remoción de DBO, el cual se basa en reactores de flujo a pistón.

Los siguientes datos se obtuvieron mediante cálculos hidráulicos y ensayos realizados en el laboratorio de sanitaria de la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Católica Andrés Bello.

#### **Datos**

|                                     |        |
|-------------------------------------|--------|
| Caudal ( $\text{m}^3/\text{día}$ ): | 557,28 |
| $C_o$ (ppm):                        | 154,8  |
| $C_e$ (ppm):                        | 60     |
| Constante de temperatura $K_{20}$ : | 0,678  |
| Profundidad $y$ (m):                | 0,3    |
| Coeficiente de porosidad ( $n$ ):   | 0,65   |

Para iniciar el cálculo del humedal, fue necesario definir la disponibilidad del terreno, topografía y condiciones del suelo, tomando en cuenta que el área del humedal debe resultar menor al área de estudio para satisfacer el diseño.

La siguiente ecuación puede estimar de forma fiable el área superficial para humedales tipo FWS, debido a las dificultades para evaluar  $A$  y  $A_v$  se utiliza la aproximación a partir del análisis de datos de rendimiento de este tipo de sistemas:

El área superficial se determina a partir de la ecuación 52:

---

Las profundidades típicas de diseño van desde 0,1 m a 0,46 m dependiendo de la estación y de la calidad esperada del agua para el sistema. Se asume profundidad de 0,3 m.

Tabla 21.

*Tipo de vegetación para humedales artificiales con sistema de flujo libre.*

| <b>Tipo de vegetación</b> | <b>N</b> |
|---------------------------|----------|
| Vegetación Densa          | 0,65     |
| Vegetación Madura         | 0,75     |

Nota: Tomado de *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. (p.70, Rolim, S. 2000).

La vegetación que se evidencia en la zona de estudio es densa, por lo que se utiliza como coeficiente de porosidad (n) 0,65.

---

El área total es de 2344,66 y el área de estudio 2700 m<sup>2</sup>

Lara, 1999, “Una relación largo-ancho  $\leq 3:1$  suele ser la mejor selección desde el punto de vista costo eficiencia, pero otras combinaciones de longitud y gradiente hidráulico son posibles también de modo que se pueda ajustar la forma del humedal al sitio y su topografía”. (p.52).

Ancho= 30 m y Largo= 80 m

El área superficial satisface el diseño, se cuenta con área suficiente para realizar el diseño del humedal artificial.

Según la tabla 13, se obtiene el coeficiente de porosidad dependiendo del tipo de sustrato. Para la impermeabilización se utilizó (grava media de 25mm), con un espesor de 9 cm, que equivale al 30% de la profundidad, y se obtuvo una porosidad de  $n=0,38$ .

Para calcular el tiempo de retención hidráulica se utilizó la ecuación 50:

$$\frac{V}{Q} = \frac{L}{v}$$

La vegetación emergente recomendable y más común para climas sub tropicales en donde oscilan temperaturas de 12 a 30 °C y pH entre 2 y 10, son las siguientes:

- Gramineas- Carrizo
- Tifáceas-Espadañas
- Juncáceas-Juncos

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

Una vez realizada la investigación mediante el cumplimiento de los objetivos específicos orientados a la consecución del objetivo general.

Para la descripción de las características físicas naturales del área de estudio se tienen las siguientes conclusiones:

1. Muchos sectores de la zona protectora del embalse son ocupados para la vivienda, agricultura, ganadería y tala, estas áreas a medida del tiempo son mayores y afectan directamente a la ecología del cuerpo de agua.
2. La zona de estudio del sector Sabanetica ubicada al borde del embalse, fue seleccionada por realizar actividades asociadas a la ganadería y desarrollo de cultivos a pocos metros del cuerpo de agua, lo cual aumenta la contaminación del embalse con materias orgánicas y nutrientes. Esto, se evidencia en el capítulo de Análisis y Resultados, con el estudio físico, químico y microbiológico realizado en el año 2011 por el Ingeniero Eduardo Greschak y los valores obtenidos en esta investigación.
3. Se presenta una pendiente significativa de 8.7% en el terreno (ver capítulo IV), un clima cálido tropical y se asume un suelo permeable de textura gruesa que influye en la erosión de agentes contaminantes.

Para el análisis físico, químico y bacteriológico del agua del embalse, se concluye:

4. Hay mayor influencia en el ensayo de conductividad, que representa más actividades antropogénicas en el embalse, y mayor turbiedad que indica el incremento de deforestación de terrenos cerca del embalse Cupapucito.

En la determinación de la hidrometría de la zona de estudio, se concluye:

5. La falta de datos para la determinación de la pluviosidad de la zona, se determina realizando una comparación de datos pertenecientes a la estación pluviométrica más cercana de la estación Upata (Estación Macagua), encontrando una precipitación media anual de 1008 mm, con un período húmedo entre los meses de Junio y Agosto, y otro seco de Diciembre y Mayo.
6. Se debe tomar en cuenta que los procesos biológicos no trabajan todo el año con aguas de escorrentía producidas por lluvias, también puede trabajar con aguas producidas por descargas de aguas existentes en viviendas de la comunidad, riego o actividades domésticas realizadas.
7. Por medio de un balance hídrico se demuestra que existe escurrimiento en los meses de Julio y Agosto, donde los procesos biológicos pueden obtener mayor acumulación de agua.
8. Es importante tomar en cuenta que la evotranspiración de la zona es mayor que la precipitación, esto puede ocurrir por la acumulación de nutrientes, que inducen a la creación de biomasa dentro del cuerpo de agua.

Para el sistema de recolección de aguas de escorrentías superficiales, se concluye:

9. Un canal abierto es el sistema más óptimo para el diseño de recolección de aguas residuales; por lo que los colectores deben diseñarse como conducciones a flujo libre por gravedad parcialmente llena.
10. El cálculo del caudal que maneja el colector, depende de factores meteorológicos, hidrogeológicos, biológicos y antrópicos, ya que todos ellos definen variables en relación con las dimensiones y el trazado del colector.
11. El tamaño y la pendiente de un colector debe ser adecuada para conducir el canal de diseño, evitar la sedimentación de sólidos y garantizar su adecuada operación y funcionalidad.

12. El flujo de agua pluvial para su recolección y evacuación no es permanente. Sin embargo, el dimensionamiento hidráulico de la sección de un colector puede hacerse suponiendo que el flujo en este es uniforme. Este es válido para colectores de diámetro pequeño.

En el diseño del sistema de tratamiento para aguas de escorrentía superficial, se concluye.

13. Los procesos biológicos aplicados constituyen métodos altamente eficientes y rentables, debido a su bajo costo de inversión y de operación, a su habilidad para asimilar cargas orgánicas variables.
14. Las lagunas de estabilización pueden tratar gran variedad de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas, cuando la carga de las mismas es biodegradable.
15. La implementación de una laguna facultativa requiere grandes extensiones de terreno y altas cargas orgánicas como se observa en el capítulo IV, lo cual es contraproducente, ya que la investigación demuestra que el diseño dispone de un área mayor al área de estudio, y la carga orgánica es relativamente baja, asimismo debe respetarse un margen de 30 metros correspondiente a la zona de inundación del embalse.
16. Se decide diseñar un humedal que no requiere respetar una zona de inundación, maneja bajas cargas orgánicas y cuenta con área suficiente. En caso de no contar con área suficiente se elige un área menor.
17. Los humedales en los períodos húmedos, pueden trabajar con sistemas de flujo libre, por el contrario, en períodos secos con sistemas de flujo subsuperficial.
18. El diseño, construcción y restauración de un humedal necesita concebirse en un sentido ecológico, la vegetación debe ser hidrófila (asociada a medios acuáticos o semiacuáticos), los suelos deben ser estrictamente híbridos y su condición debe ser hídrica, determinada por la influencia climática.

19. El diseño del humedal se planteó como una franja de amortiguación al final de la cuenca de drenaje, con el fin de controlar los vertidos provenientes de tierras agrícolas y asentamientos urbanos.
20. Este trabajo de investigación incluye variables (Caudal, DBO, temperatura, profundidad), las cuales pueden ser manejadas en una hoja de cálculo de Excel, para obtener un resultado dinámico en función de la demanda del entorno para investigaciones futuras.

### **Recomendaciones**

1. Es imprescindible el cumplimiento del artículo 6 y 54 de la Ley de aguas, referidos a las zonas protectoras de cuerpos de agua que ocupan una franja de 300 m a ambos márgenes del embalse, y siendo bienes del dominio público las comprendidas a 100m a partir del área ocupada por las crecidas.
2. Fomentar el cumplimiento del artículo 10 del decreto 883 en los habitantes de las comunidades a las orillas del embalse, el cual expresa los rangos y límites máximos de calidad de vertidos líquidos que son descargados, en forma directa o indirecta al embalse.
3. Se recomienda realizar una caracterización más profunda de la cuenca con respecto a la calidad de sus aguas, para conocer las cantidades de agua transportadas natural y artificialmente, que con ayuda del diseño de un sistema de captación, logran desviar las cargas contaminantes de diversa índole y bajo diferentes escenarios hidrológicos.
4. Realizar un estudio no solo del impacto que genera las aguas de escorrentía superficial al embalse, sino también el de las aguas de escorrentía subterráneas, para una información más amplia donde se pueda manejar otros parámetros que ayuden con el control y protección del cuerpo de agua.
5. Es importante enfocar la investigación desde el punto de vista hidrológico, el manejo, mantenimiento y control de los equipos de medición, para así obtener resultados más precisos y confiables.

6. Se recomienda usar para el diseño del colector tuberías de concreto, ya que no es contaminante, permanece inerte en el suelo y no daña el medio ambiente. Es altamente resistente y le permite aumentar su resistencia con el paso del tiempo.
7. Es necesario impermeabilizar la capa subsuperficial del humedal con arcilla, bentonita o algún tipo de membrana geosintética, para evitar infiltraciones y contaminación de aguas subterráneas.
8. Para garantizar un flujo uniforme en los procesos biológicos, se recomienda utilizar igual cantidad de dispositivos de entradas que de salidas.
9. Para climas tropicales y sub tropicales donde predominen temperaturas entre 12 y 30 °C y pH entre 2 y 10, se recomienda utilizar como vegetación emergente el carrizo, espadañas y juncos.
10. Para la impermeabilización del lecho filtrante, es imprescindible utilizar grava media, con un espesor de 6 cm, ésta tiene intersticios donde se manejan altos niveles de oxígeno, lo cual garantiza una biota aerobia que es ideal para este proceso.
11. Se requiere en general, la concientización a través de campañas públicas a los usuarios del reservorio de agua dulce (embalse Cupapuycito), sobre la gran importancia de mantener la protección del embalse.
12. La zona protectora debe ser delimitada por alguna cerca o aviso que pueda resguardar y proteger el ecosistema del embalse, evitando la presencia de personas inescrupulosas que puedan ensuciar el lugar o talar los márgenes del embalse.
13. Para los espacios lagunares adyacentes al embalse, que mayormente tienen más presencia de materia orgánica, se recomienda que sean tratados en el cauce de unión entre la laguna y el embalse, (flujo pistón).
14. Se propone realizar un estudio botánico para la evaluación de las macrofitas presentes en la zona.

## Referencias

-Camacho, F (2004) Aspectos Hidrológicos. (s.e.) *DISEÑO DE OBRAS DE DRENAJE, DRENAJE URBANO Y DISEÑO DE ALCANTARILLAS*. (Vol. I. 276)

Diseño de obras de drenaje, drenaje urbano y diseño de alcantarillas (Vol. I) Caracas

-Cengel, Y. y Cimbala, J. (2007). *Mecánica de Fluidos, fundamentos y aplicaciones* Editor.

-Creus, A (2011). *Instrumentación industrial 8v edición*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A.

-De Grazia, O y Natera S. (2016). *Propuesta de adecuación del río Yocoima con fines de abastecimiento de agua potable para un sector de Upata, Estado Bolívar*, Tesis de grado. Universidad Católica Andrés Bello, Ciudad Guayana.

-EDELCA (2008). (s.e) *La Cuenca del río Caroní* . Bolívar, Venezuela. ELECTRIFICACIÓN DEL CARONÍ

-Gómez, I (2000). *Saneamiento ambiental*. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia.

-María Porras de Vásquez (2007). *Abastecimiento de Agua (2da ed.)*. San Cristóbal: Universidad Nacional Experimental del Táchira.

-Marín Galvín, R (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

-Martínez, P. E., Martínez, P y Castaño S. (2006). *Fundamentos de Hidrogeología*. España. Mundi-Preci.

-Metcalf & Eddy (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales (Tratamiento, Vertido y Reutilización) Volumen I 3era Edición*. Madrid, España. Editorial: Mc Graw- Hill.

-Ramos, R. Sepúlveda, R. y Villalobos F. (2003). *El agua en el medio ambiente*. México. Plaza y Valdés.

-Reglamento Técnico del Sector de AGUA Potable y Saneamiento Básico RAS, (2000). *Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales*. Bogotá.

-Roa Márquez, J.A. (2002). *Fundamentos básicos de los procesos ambientales para ingenieros. (1ra ed.)* San Cristóbal, Venezuela: Fondo Editorial Unet.

-Rodríguez, A & Rodríguez, R (2010). *Seminario: agua*. Buenos Aires: Editorial U.T.N.

-Roldán, G y Ramírez, J.J (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Colombia. Universidad de Antioquía.

-Rolim, S. (2000). *Sistemas de Lagunas de Estabilización*, Colombia. Mc Graw Hill

-Organización Panamericana de la salud (1988). *Guías para la calidad del agua potable volumen 508*, Publicación científica. Editorial Pan American.

-(s.a). (s.f). *El ciclo del agua*, Universidad Complutense Madrid. Facultad de Educación. Dpto. Didáctica de las Ciencias Experimentales Recuperado de <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/diciex/proyectos/aguas/transpiracion.html>.

- Sabino, C (1992). *El Proceso de investigación (2da ed.)*. Venezuela: Panapo.

-Sarco, C. (2010). *Ambiente y Sociedad*. Recuperado de [http://sarcoliracarlos.bloghpot.com/2010\(05/la-contaminacion-de-los-embalses-pao.html](http://sarcoliracarlos.bloghpot.com/2010(05/la-contaminacion-de-los-embalses-pao.html).

-Sampieri, R., Collado, C., Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5ta ed.). Caracas, Venezuela: Mc Graw Hill.

-(s.a). (s.f). *Calidad de aguas-Lagunas de Estabilización- Guía Ambiental*. Recuperado de <http://www.guiaambiental.com.ar/conocimiento-calidad-de-agua-lagunas-estabilizacion.html>

-Suárez, L.M (1993). *Presas de corrección de tormentas y retención de sedimentos*, Venezuela. Representaciones L.A. Urbina.

-Valarino, E, Yáber, G. y Cemborain, M. (2010) *Investigación aplicada paso a paso*. México: Trillas.

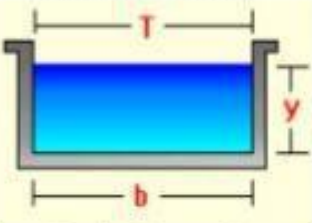
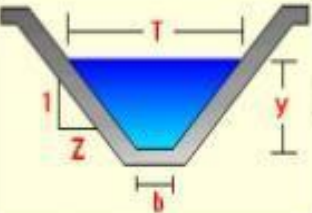
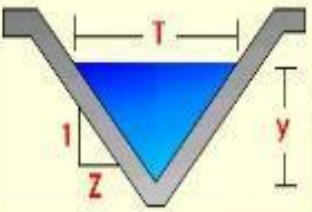
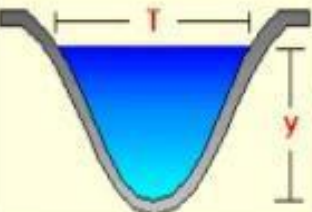
-Yáñez, F. (2005), Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Perú.

## **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**BASES TEORICAS**

Tabla 22.

*Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes.*

| Sección Rectangular                                                                 | Área mojada                                                                 | Perímetro mojado                                                                                     | Radio hidráulico                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | $b y$                                                                       | $b + 2 y$                                                                                            | $\frac{b y}{b + 2 y}$                                                                                                            |
|                                                                                     | Ancho superficial                                                           | Profund. hidráulica                                                                                  | Factor de sección                                                                                                                |
|                                                                                     | $b$                                                                         | $y$                                                                                                  | $b y^{1.5}$                                                                                                                      |
| Sección Trapezoidal                                                                 | Área mojada                                                                 | Perímetro mojado                                                                                     | Radio hidráulico                                                                                                                 |
|    | $(b + Z y) y$                                                               | $b + 2 y \sqrt{1 + Z^2}$                                                                             | $\frac{(b + Z y) y}{b + 2 y \sqrt{1 + Z^2}}$                                                                                     |
|                                                                                     | Ancho superficial                                                           | Profund. hidráulica                                                                                  | Factor de sección                                                                                                                |
|                                                                                     | $b + 2 Z y$                                                                 | $\frac{(b + Z y) y}{b + 2 Z y}$                                                                      | $\frac{[(b + Z y) y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2 Z y}}$                                                                                   |
| Sección Triangular                                                                  | Área mojada                                                                 | Perímetro mojado                                                                                     | Radio hidráulico                                                                                                                 |
|   | $Z y^2$                                                                     | $2 y \sqrt{1 + Z^2}$                                                                                 | $\frac{Z y}{2 \sqrt{1 + Z^2}}$                                                                                                   |
|                                                                                     | Ancho superficial                                                           | Profund. hidráulica                                                                                  | Factor de sección                                                                                                                |
|                                                                                     | $2 Z y$                                                                     | $\frac{1}{2} y$                                                                                      | $\frac{\sqrt{2}}{2} Z y^{2.5}$                                                                                                   |
| Sección Circular                                                                    | Área mojada                                                                 | Perímetro mojado                                                                                     | Radio hidráulico                                                                                                                 |
|  | $\frac{1}{8} (\theta - \text{sen } \theta) D^2$                             | $\frac{1}{2} \theta \cdot \phi$                                                                      | $\frac{1}{4} \left( 1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta} \right) \phi$                                                          |
|                                                                                     | Ancho superficial                                                           | Profund. hidráulica                                                                                  | Factor de sección                                                                                                                |
|                                                                                     | $\left( \text{sen } \frac{1}{2} \theta \right) \phi$<br>$2 \sqrt{y(D - y)}$ | $\frac{1}{8} \left( \frac{\theta - \text{sen } \theta}{\text{sen } \frac{1}{2} \theta} \right) \phi$ | $\frac{\sqrt{2}}{32} \frac{(\theta - \text{sen } \theta)^{1.5}}{\left( \text{sen } \frac{1}{2} \theta \right)^{0.5}} \phi^{2.5}$ |
| Sección Parabólica                                                                  | Área mojada                                                                 | Perímetro mojado                                                                                     | Radio hidráulico                                                                                                                 |
|  | $\frac{2}{3} T y$                                                           | $T + \frac{8}{3} \frac{y^2}{T} \cdot$                                                                | $\frac{2 T^2 y}{3 T^2 + 8 y^2} \cdot$                                                                                            |
|                                                                                     | Ancho superficial                                                           | Profund. hidráulica                                                                                  | Factor de sección                                                                                                                |
|                                                                                     | $\frac{3}{2} \frac{A}{y}$                                                   | $\frac{2}{3} y$                                                                                      | $\frac{2}{9} \sqrt{6} T y^{1.5}$                                                                                                 |

*Nota:* Adaptado de *Open-channel hydraulics* por V. T Chow, 1978, United States and Canadá. Derechos reservados por Vente Te Chow.

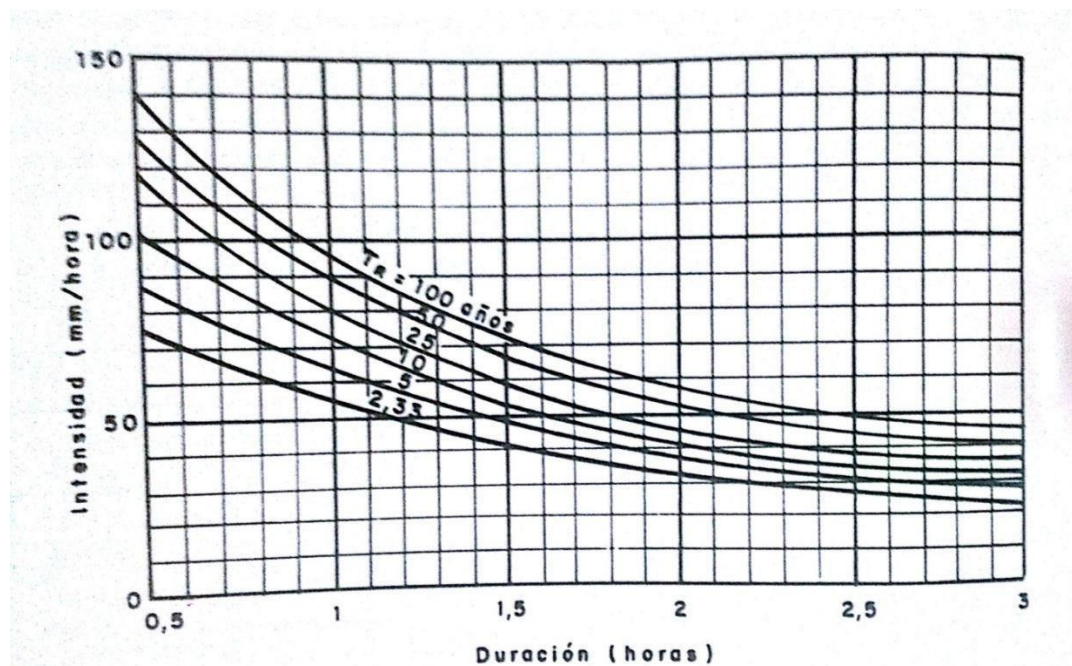


Figura 38. Curva de duración, intensidad y frecuencia de la Lluvia. Intensidad (mm/h) vs Duración (h). Tomado del Libro Presas de Corrección de Torrentes y retención de sedimentos. Suarez, (1993), Venezuela.

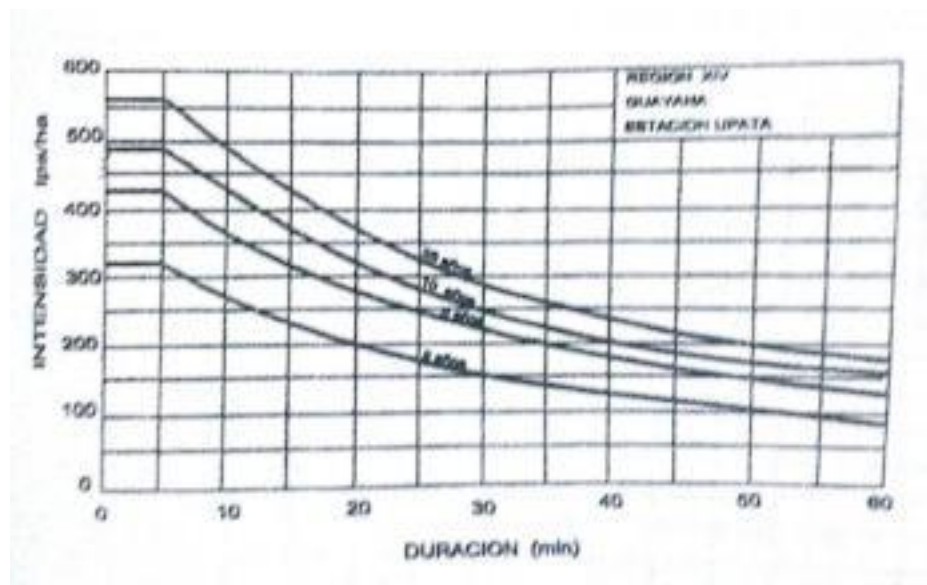


Figura 39. Curva de duración, intensidad y frecuencia de la Lluvia. Intensidad (lps/ha) vs Duración (min). Tomado de Diseño de Obras de Drenaje Urbano y diseño de Alcantarillas, Vol I. (2004), Venezuela.

**ANEXO B**  
**CARACTERIZACION Y MUESTREO**

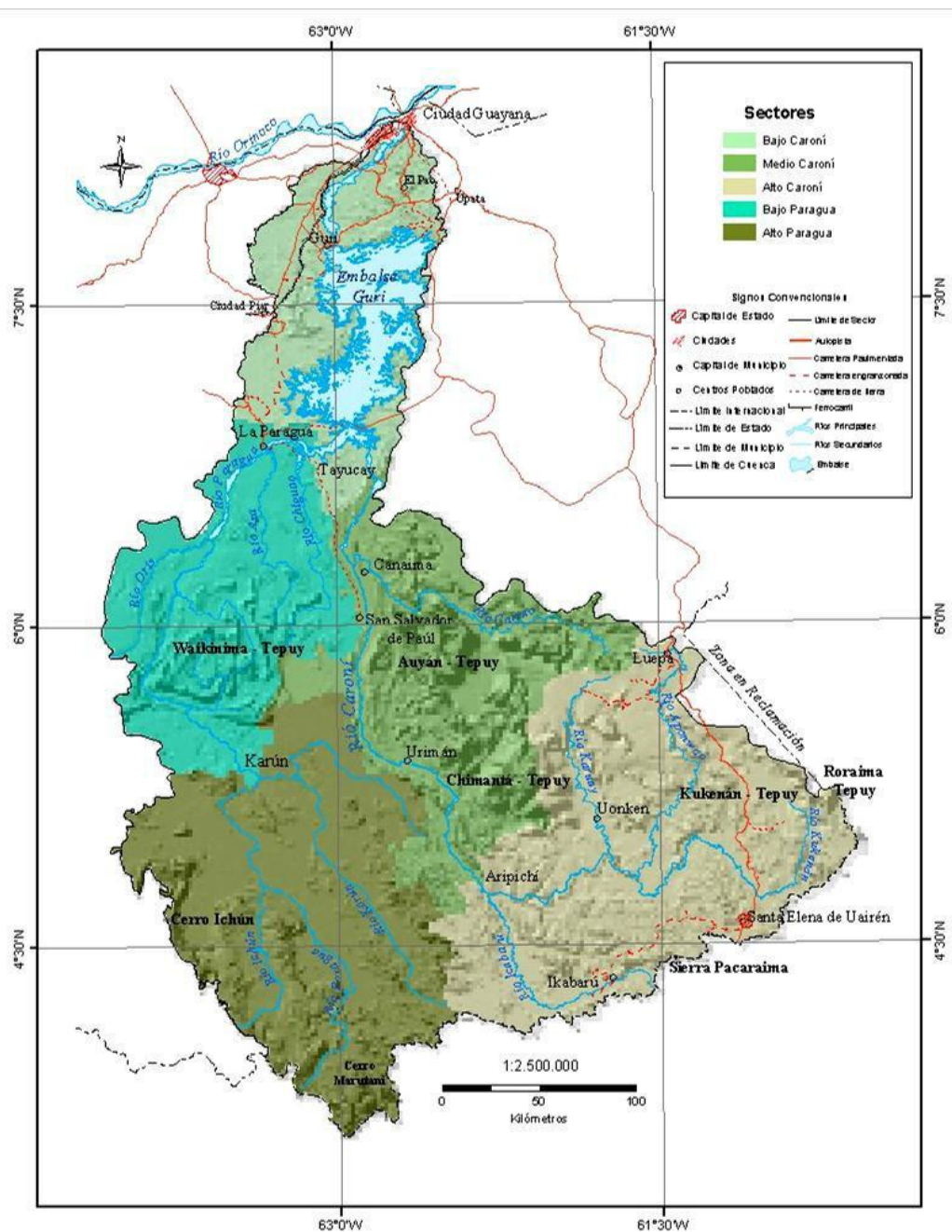


Figura 40. Mapa de sectorización del río Caroní. Tomado de la cuenca del río Caroní, (p. 16), por la empresa EDELCA, 2016, Venezuela. Derechos reservados por la empresa EDELCA.

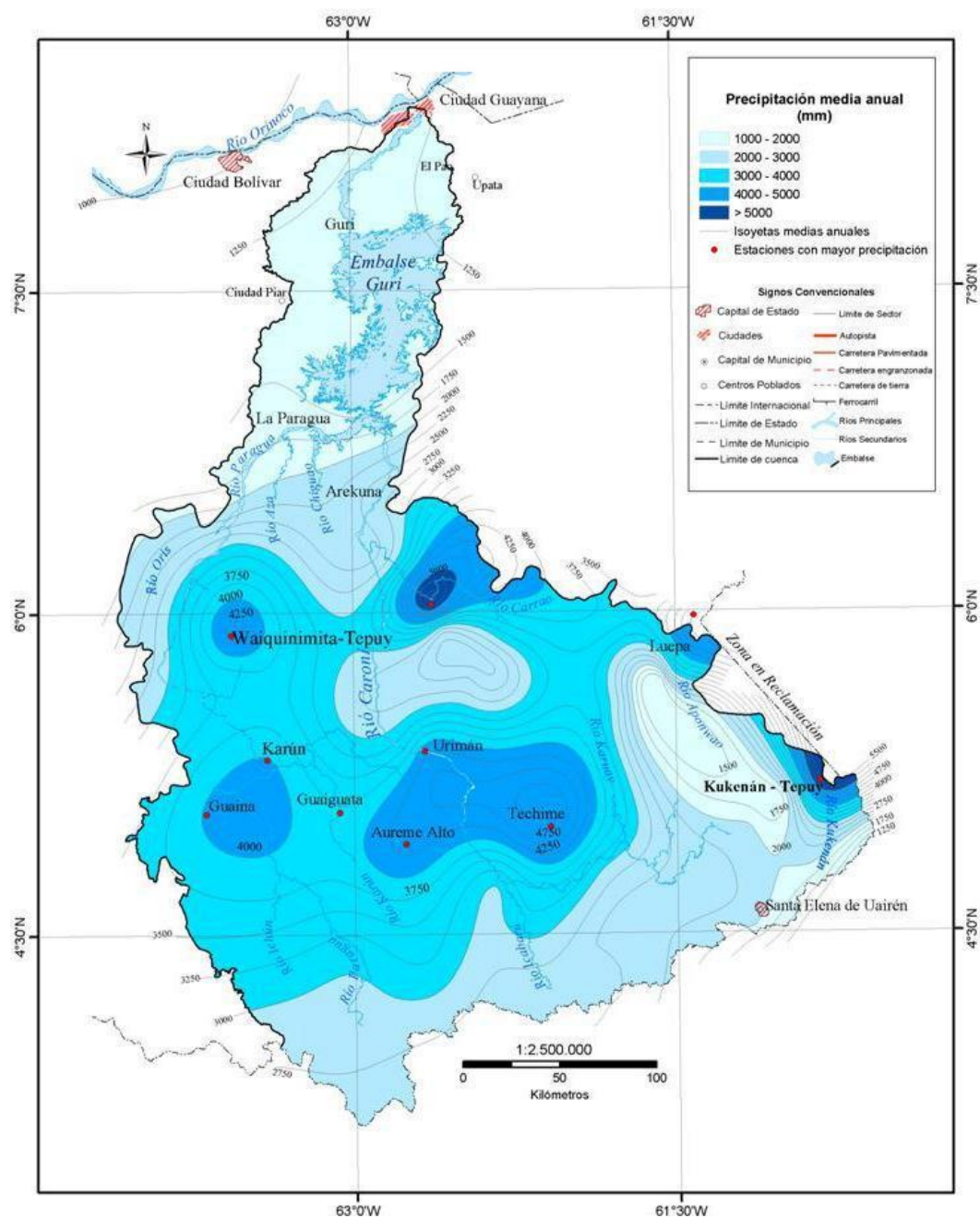


Figura 41. Mapa de precipitación media anual del río Caroní. Tomado de la cuenca del río Caroní, (p. 35), por la empresa EDELCA, 2008, Venezuela. Derechos reservados por la empresa EDELCA.

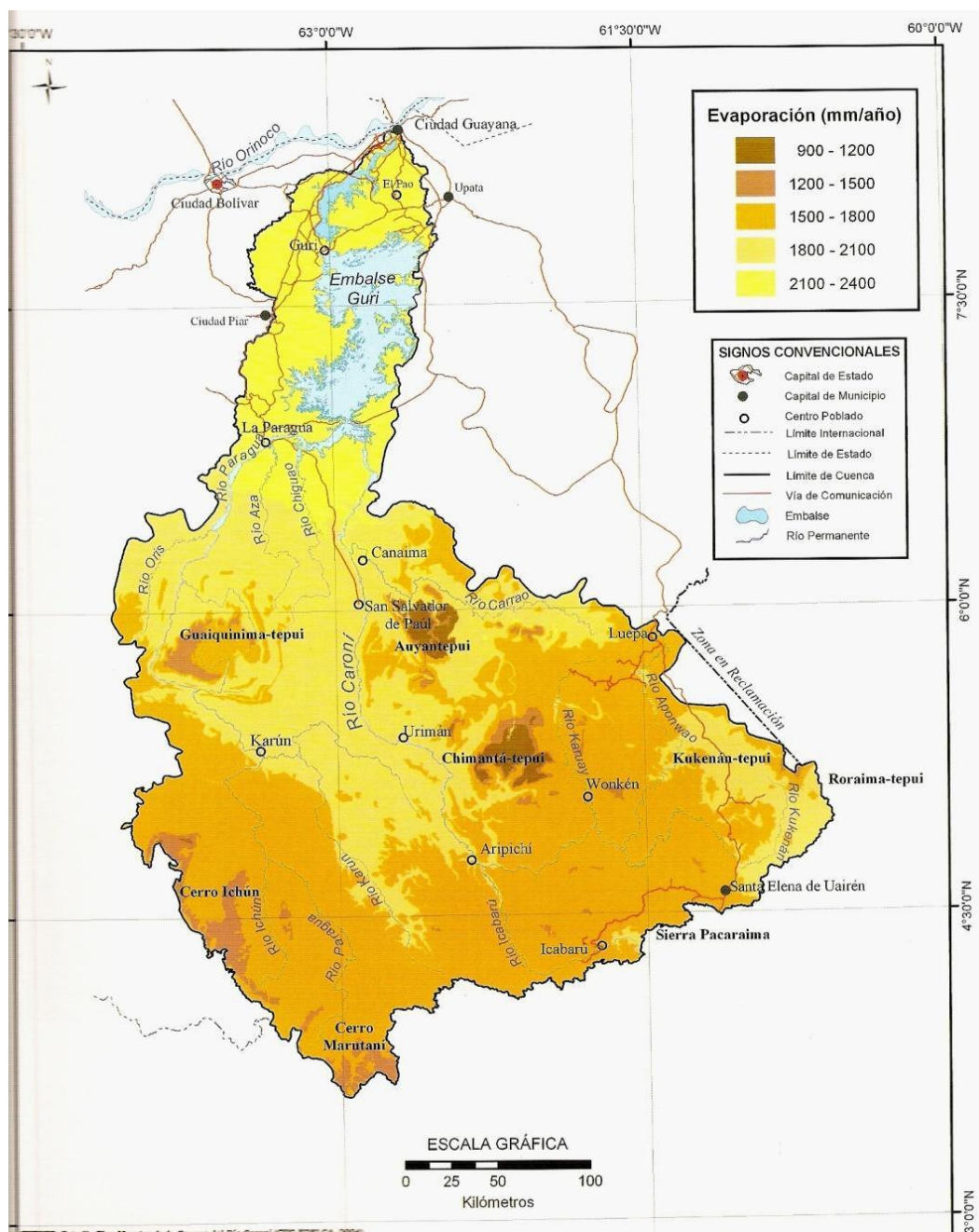


Figura 42. Mapa de evaporación media anual del río Caroní. Tomado del documento La Cuenca del río Caroní, (p. 37), por la empresa EDELCA, 2008, Venezuela. Derechos reservados por la empresa EDELCA.

Tabla 23.

*Balance Hídrico de la Cuenca del Río Caroní, Estación Macagua.*

| Estación : 6                       |                                            | MACAGUA  |                                | Latitud Norte : 08 ° 17 ' 29" |         |         |        |        |        |        |         |         |         |         |                   | Longitud Este : 62 ° 39 ' 29 " |                                         |  |  | Textura : a |  |  |  |
|------------------------------------|--------------------------------------------|----------|--------------------------------|-------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|--|--|-------------|--|--|--|
| Nro                                | Descripción                                | Ene      | Feb                            | Mar                           | Abr     | May     | Jun    | Jul    | Ago    | Sep    | Oct     | Nov     | Dic     | Total   |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| 1                                  | Temp. Media mensual °C                     | 26,00    | 26,60                          | 27,90                         | 28,90   | 28,30   | 26,70  | 26,30  | 26,70  | 27,50  | 27,60   | 27,00   | 26,20   | 325,70  |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| 2                                  | Índice térmico                             | 12,13    | 12,56                          | 13,50                         | 14,24   | 13,80   | 12,63  | 12,35  | 12,63  | 13,21  | 13,28   | 12,85   | 12,28   | 155,46  |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| 3                                  | Evapotranspiración diaria sin Ajustar (mm) | 4,20     | 4,50                           | 4,90                          | 5,20    | 5,00    | 4,60   | 4,30   | 4,60   | 4,80   | 4,80    | 4,60    | 4,30    | 55,80   |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| 4                                  | Evapotranspiración potencial (ETP) (mm)    | 126,90   | 124,20                         | 151,41                        | 160,68  | 160,93  | 144,90 | 138,40 | 146,28 | 146,88 | 146,88  | 135,24  | 129,00  | 1711,69 |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| 5                                  | Evaporación de la tina "a" (% Mensual)     | 160,24   | 176,90                         | 232,34                        | 232,82  | 197,47  | 144,96 | 149,66 | 157,21 | 170,84 | 175,43  | 145,42  | 140,51  | 2083,78 |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| 6                                  | ETP ajustada (mm)                          | 131,62   | 145,31                         | 190,85                        | 191,25  | 162,21  | 119,08 | 122,94 | 129,14 | 140,33 | 144,10  | 119,45  | 115,42  | 1711,70 |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| 7                                  | Precipitación (PP) mm                      | 40,76    | 25,64                          | 21,79                         | 30,30   | 115,15  | 208,77 | 208,76 | 167,24 | 92,66  | 87,74   | 85,41   | 74,65   | 1158,87 |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| 8                                  | PP - ETP                                   | -90,86   | -119,67                        | -169,06                       | -160,95 | -47,06  | 89,69  | 85,82  | 38,10  | -47,67 | -56,36  | -34,04  | -40,77  | -552,83 |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| 9                                  | Diferencia negativa acumulada (mm)         | -90,86   | -210,53                        | -379,59                       | -540,54 | -587,60 | 0,00   | 0,00   | 0,00   | -47,67 | -104,03 | -138,07 | -178,84 | 0,00    |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| 10                                 | Almacenamiento                             | 0,00     | 0,00                           | 0,00                          | 0,00    | 0,00    | 60,00  | 60,00  | 60,00  | 12,33  | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 192,33  |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| 11                                 | Diferencia de Almacenamiento               | 0,00     | 0,00                           | 0,00                          | 0,00    | 0,00    | 60,00  | 0,00   | 0,00   | -47,67 | -12,33  | 0,00    | 0,00    | 0,00    |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| 12                                 | Evaporación real (ETR) en (mm)             | 40,76    | 25,64                          | 21,79                         | 30,30   | 115,15  | 119,08 | 122,94 | 129,14 | 140,33 | 100,07  | 85,41   | 74,65   | 1005,26 |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| 13                                 | Deficit (mm)                               | 90,86    | 119,67                         | 169,06                        | 160,95  | 47,06   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 44,03   | 34,04   | 40,77   | 706,44  |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| 14                                 | Exceso (mm)                                | 0,00     | 0,00                           | 0,00                          | 0,00    | 0,00    | 29,69  | 85,82  | 38,10  | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 153,61  |                   |                                |                                         |  |  |             |  |  |  |
| Verificación : ETP = ETR + Deficit |                                            | 1.711,70 | = 1.005,26 + 706,44 = 1.711,70 |                               |         |         |        |        |        |        |         |         |         |         | PP = ETR + Exceso |                                | 1.158,87 = 1.005,26 + 153,61 = 1.158,87 |  |  |             |  |  |  |

*Nota:* Tomado de Caracterización de los elementos climáticos, (p. 3), por empresa Hidroeléctrica del Estado Bolívar, (s.f) Venezuela. Derechos reservados por C.V.G EDELCA.



*Figura 43. Toma de muestra a orillas del embalse Cupapuycito, sector Sabanetica.*



*Figura 44. Fotografía al sur del embalse Cupapuycito, sector Sabanetica.*



*Figura 45. Actividades agrícolas realizadas de la zona protectora del embalse, Tomada del trabajo de Investigación Diagnostico de la Zona Protectora del embalse Cupapuycito, municipio Piar, Estado Bolívar. Moreno, M. (2013).*



*Figura 46. Presencia de la planta acuática Bora. Tomada del trabajo de Investigación Diagnostico de la Zona Protectora del embalse Cupapuycito, municipio Piar, Estado Bolívar. Moreno, M. (2013).*



*Figura 47. Actividad agrícola en la Zona Protectora del Embalse.*



*Figura 48. Represa Cupapuycito, situada al Nor-oeste de la Ciudad de Upata entre Colinas.*



*Figura 49. Actividad Pecuaria presente en la Zona Protectora del Embalse.*



*Figura 50. Actividad ganado Porcino presente en la Zona Protectora del Embalse.*

**ANEXO C**  
**NOTICIAS**



### **Recogen muestra de Boras (Salvinia Molesta) en Cupapuicito (julio 2015)**

Las muestras se recopilaron en sitios estratégicos del embalse, considerando la zona ubicada hacia el sector La Caramuca. Asimismo, en el centro del lago y adyacencias del sistema de potabilización del agua, agregó Odalis Abreu, gerente de control de calidad de Hidrobolívar.

Fuente: <http://www.primicia.com.ve/region/recogen-muestra-de-boras-en-cupapuicito.html#sthash.OFOHlmmo.dpuf>



### **Carlos Graffe; El embalse Pao-Cachinche presenta fuerte contaminación**

El dirigente por la Mesa de la Unidad Democrática (MUD) en el estado Carabobo, Carlos Graffe, denunció este viernes que el embalse Pao-Cachinche presenta una fuerte contaminación, lo que genera inundaciones y enfermedades a los habitantes del sector.

Fuente: <http://www.el-carabobeno.com/noticias/articulo/143755/Carlos-Graffe-El-embalse-Pao-Cachinche-presenta-fuerte-contaminacin>

### **Planta de Cupapuicito paralizó operaciones (abril 2016)**

Brito precisó que recientemente funcionarios de la hidrológica y alcaldía inspeccionaron el embalse de Cupapuicito, comprobando que se está seco, con mucho sedimento, trozos de árboles, restos de bora y cantidad de excremento de ganado por hallarse algunas fincas en las adyacencias.

**ANEXO D**  
**PROCESO BIOLOGICO (HUMEDAL)**

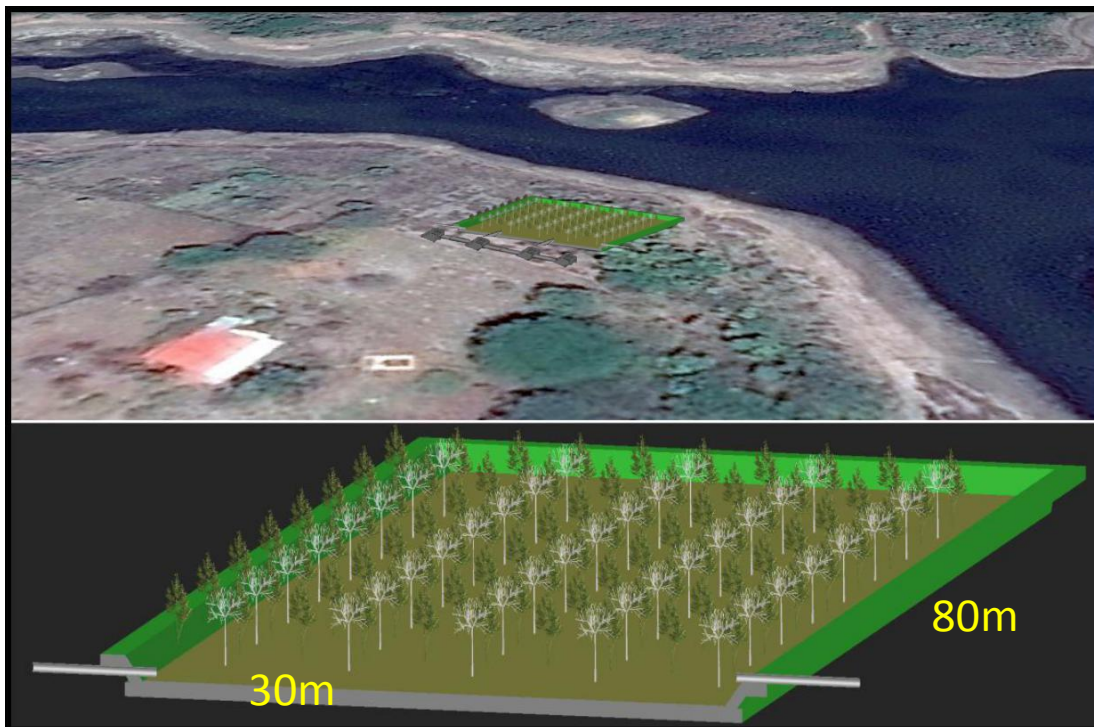


Figura 51. Vista isométrica del Humedal.

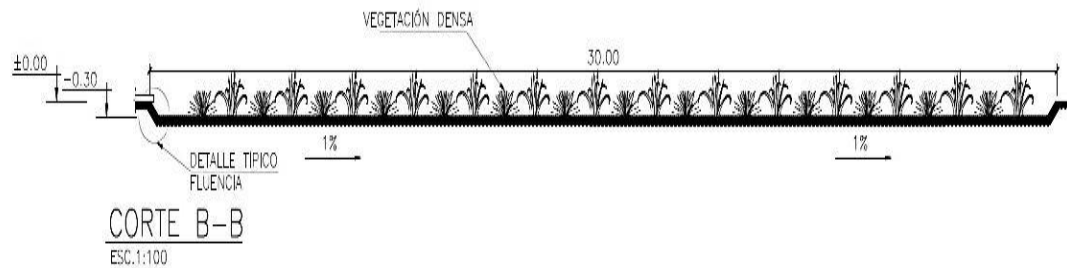


Figura 52. Vista lateral del humedal.

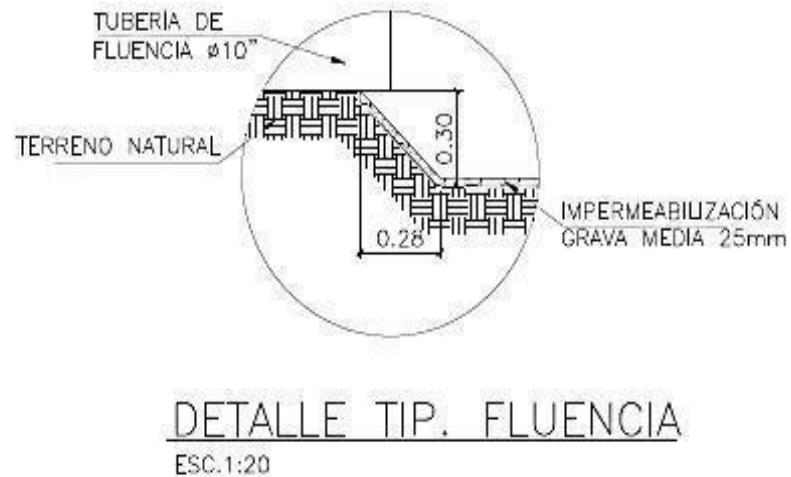


Figura 53. Vista del talud del humedal. Espesor de la capa de grava (9 cm).

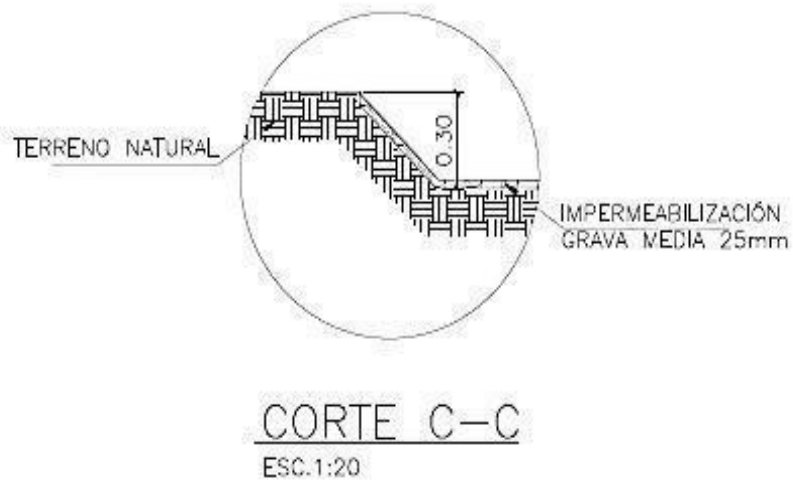


Figura 54. Vista del talud del humedal. Espesor de la capa de grava (9 cm).

**ANEXO E**  
**SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE AGUAS DE ESCORRENTIA**  
**SUPERFICIAL (COLECTOR)**

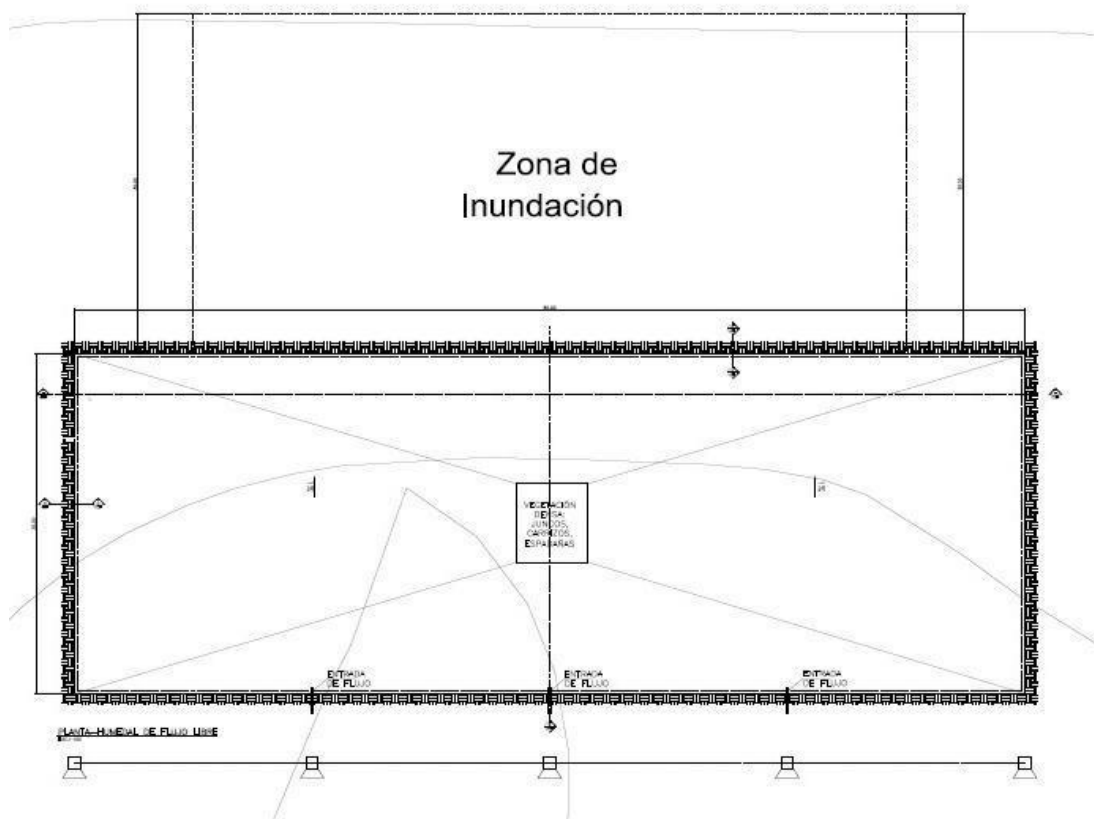


Figura 55. Vista de planta del colector con el área de humedal.

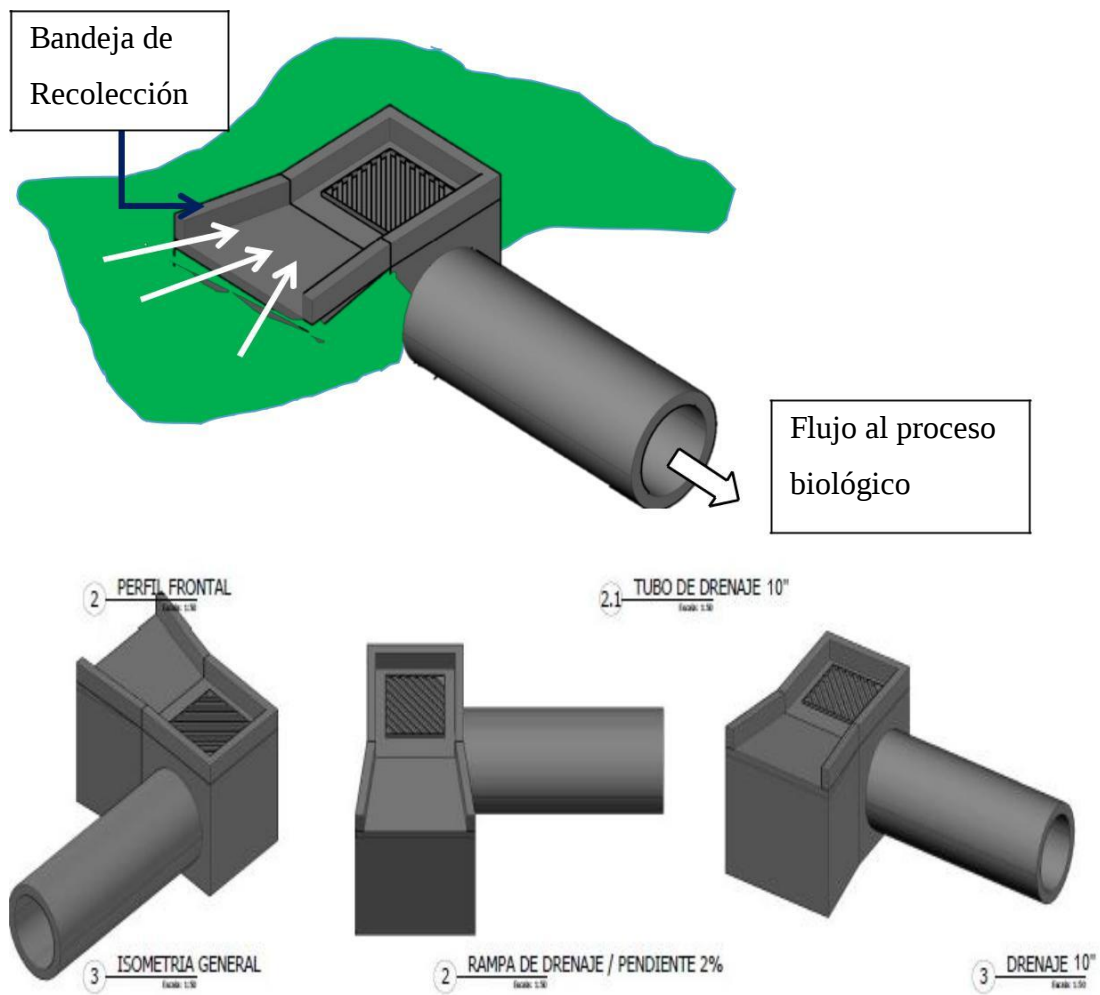
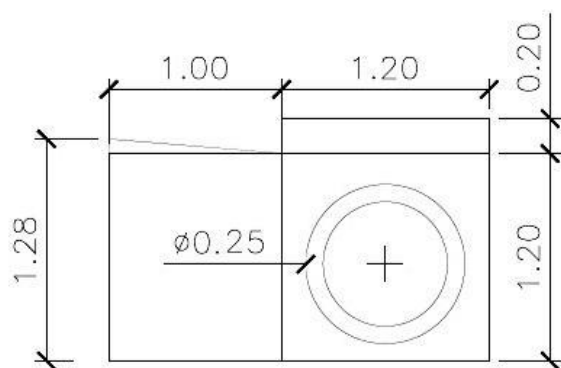


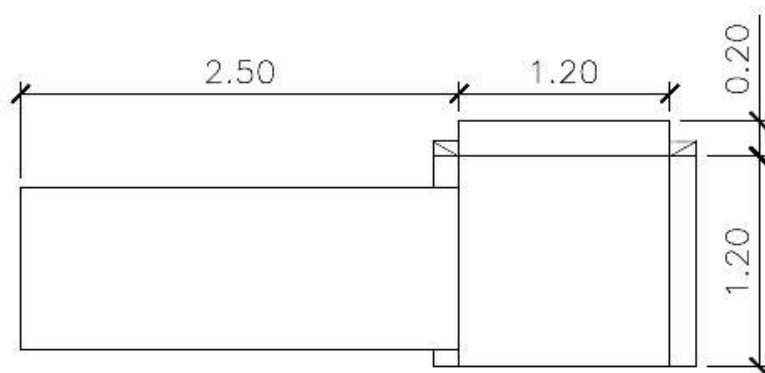
Figura 56. Isometría del colector.



## COLECTOR DE AGUA—VISTA

ESC. 1:50

*Figura 57. Vista lateral del colector.*



## COLECTOR DE AGUA—VISTA

ESC. 1:50

*Figura 58. Vista frontal del colector.*

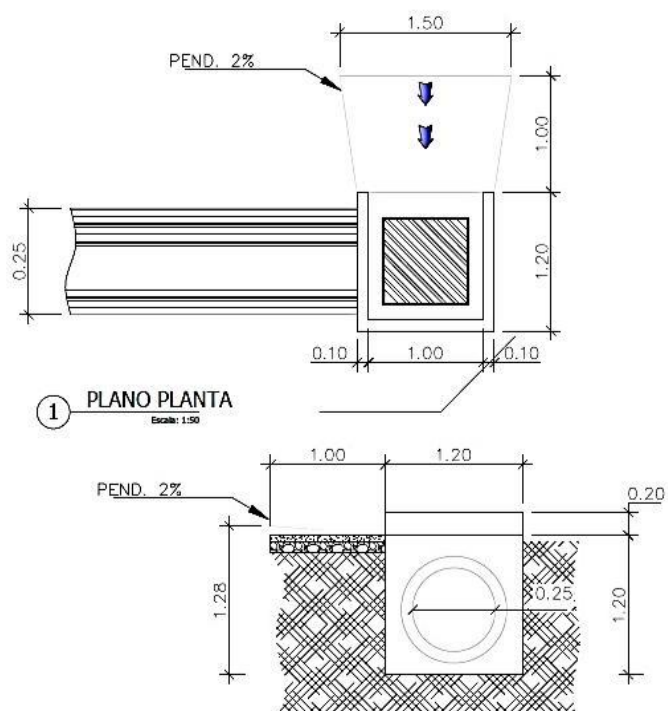


Figura 59. Vista de planta y lateral del colector 1.

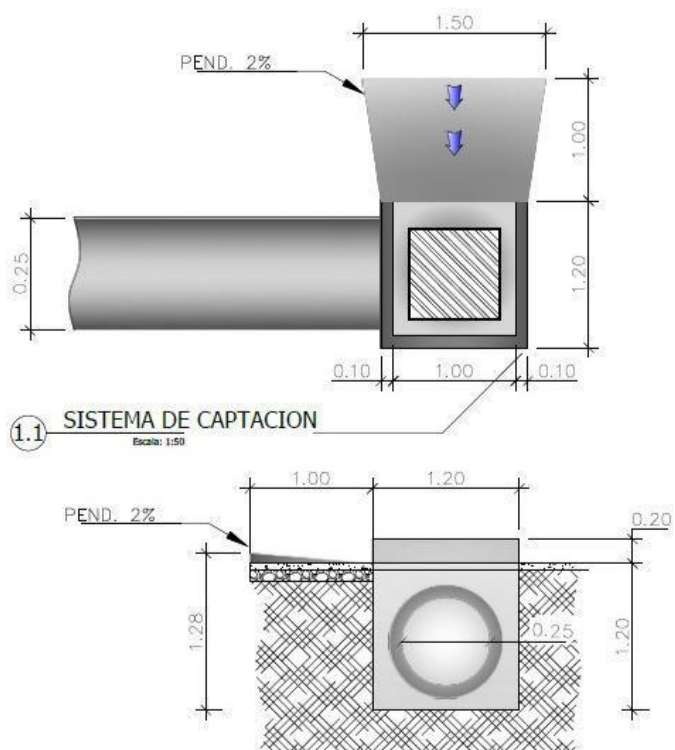


Figura 60. Vista de planta y vista lateral del colector.